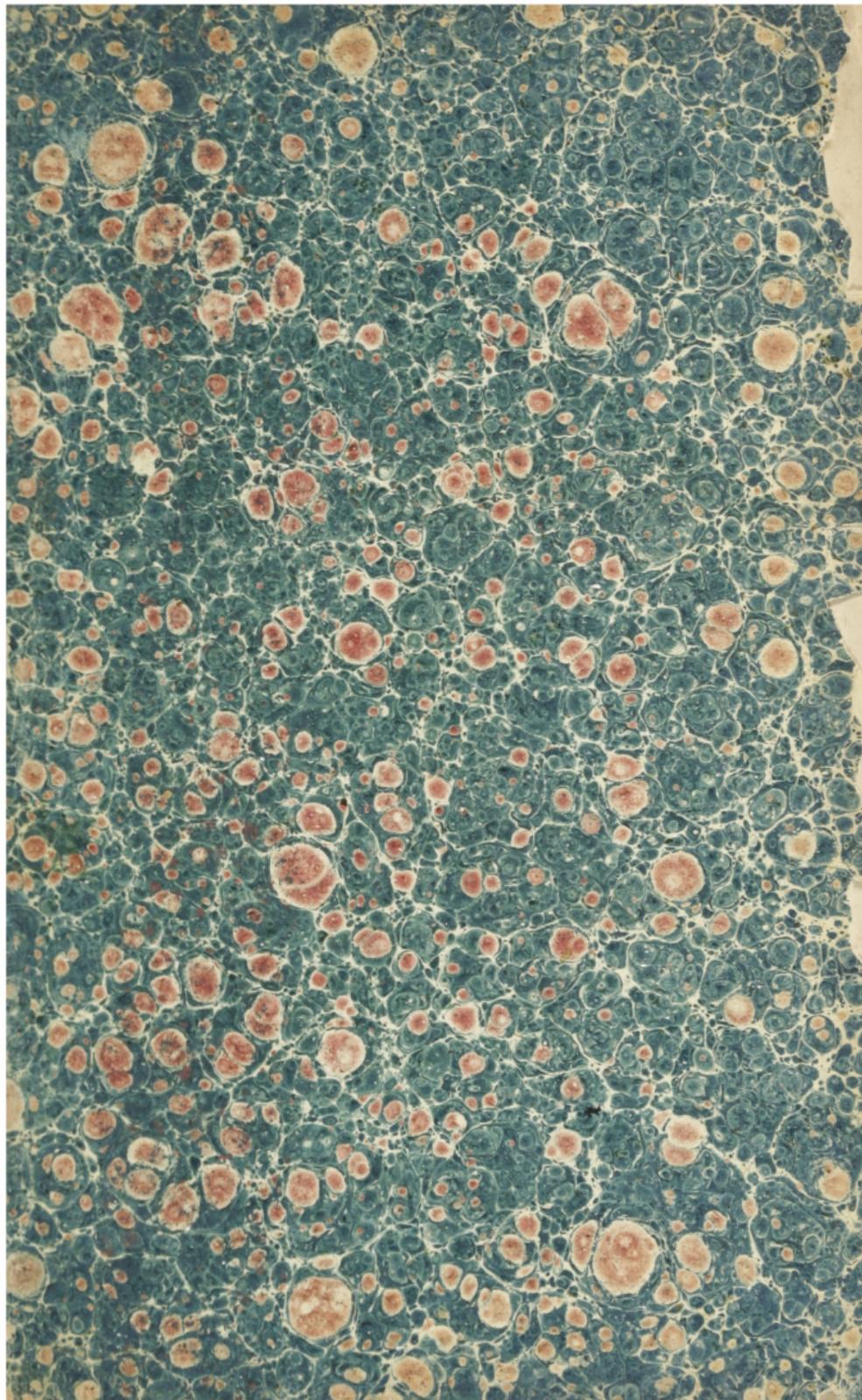


THE JOHN CRERAR
LIBRARY CHICAGO.

1894

ED. French, Jr. 1896



MANUEL COMPLET

DE PHYSIQUE

ET DE

MÉTÉOROLOGIE.

IMPRIMERIE D'HIPPOLYTE TILLIARD ;
RUE ST.-HYACINTHE-ST.-MICHEL, N. 30.

MANUEL COMPLET
DE PHYSIQUE

ET DE

MÉTÉOROLOGIE,

PAR AJASSON DE GRANDSAGNE, ET L. FOUCHÉ.

SECONDE ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE.

ORNÉ DE SIX PLANCHES,
REPRÉSENTANT PLUS DE 300 FIGURES:



PARIS.

LIBRAIRIE DES SCIENCES MÉDICALES
DE JUST ROUVIER ET E. LE BOUVIER,
RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N. 8.

1853.

PREFACE.

Notre but , en publiant un nouveau Manuel de physique après tant d'autres , a été de présenter , dans un cadre de médiocre dimension , les points vraiment essentiels de cette science , qui tous les jours s'enrichit de nouvelles découvertes. Choisir les particularités réellement importantes , les disposer dans l'ordre le plus convenable , les exprimer dans le style le plus clair et le plus concis , voilà à quoi nous nous sommes principalement appliqués ; c'est dans les traités plus volumineux de nos maîtres , que les jeunes étudiants , après avoir puisé les premières notions , et , en quelque sorte

530.2
J501

30260^{1*}

appris la langue du pays dans nos livres , pourront suivre tous les développemens des idées scientifiques , et approfondir les causes que nous nous bornons ici à indiquer.

Au reste , nous ne voulons point , à l'exemple de tant d'auteurs , plaider la cause de notre livre. S'il est utile , il sera reconnu pour tel , et s'il ne l'est point , à quoi servirait la plus belle Préface ? Nous nous bornerons à un mot relativement au grand nombre de figures que nous joignons à ce petit volume. Nous croyons , en cela , avoir rendu service aux lecteurs , que nous ne renvoyons , ni aux ouvrages des autres , ni , selon l'usage contemporain , à nos Mémoires , nos Traités , nos Opuscules faits ou à faire. Ajoutons cependant , au risque d'être accusés d'imiter dans la Préface les défauts que nous reprochons au texte de nos confrères , que les dessins des appareils météorologiques du célèbre Leslie , sont extraits d'un ouvrage très étendu sur l'usage des instruments de physique dont l'un de nous s'occupe depuis plusieurs années ,

et dont l'impression n'est plus retardée que par l'attente de quelques documents à nous promis par des savants étrangers, dont l'obligeance nous aura été d'un grand secours pour compléter notre *Recueil*.

INTRODUCTION.

Les changements et les métamorphoses qui s'opèrent autour de nous , éveillent d'abord notre curiosité; mais bientôt l'expérience vient nous témoigner la constance et la régularité de ce spectacle si changeant en apparence , et nous nous apercevons alors que le vaste mouvement de l'univers consiste simplement dans la répétition d'événements semblables entre eux. Éternellement sans doute la sagacité humaine s'exercera en vain sur la découverte des ressorts cachés par lesquels sont unis les anneaux de la chaîne immense et indissoluble qui embrasse toutes choses : cependant , puisque le plus compliqué des phénomènes est toujours le résultat d'un petit nombre de principes , nous marchons vers le but que nous proposent les sciences , en établissant les différences et la classification de ces faits élémentaires. Les hommes , rarement satisfaits de progrès aussi modérés, ont plus d'une fois, en voulant, dans leur audace , pénétrer les secrets de la nature , souffert de grandes humiliations et subi de cruels désappointements. Le premier devoir du philosophe investigateur est d'étudier soigneusement les apparences

(1) Cette introduction est due en grande partie au célèbre Leslie dont nous continuons la traduction des Ouvrages.

qui viennent successivement frapper ses regards et d'en retracer les relations mutuelles.

Toutes nos connaissances des objets extérieurs nous arrivant par la route des sens, il n'existe donc que deux moyens d'explorer les phénomènes physiques : l'observation et l'expérience. La première se borne à la perquisition rigoureuse et à l'examen attentif des faits qui se manifestent pendant la marche de la nature ; l'autre consiste en une sorte de choix et de combinaison artificiels des circonstances qui peuvent favoriser la recherche des différents résultats sur lesquels se porte l'attention.

Le domaine de l'observation est borné par la position du spectateur, qui peut rarement attendre la nature, la guetter et *la prendre*, comme on dit, *sur le fait*. De telles observations renfermant les relations du temps et de l'espace, sont d'un haut intérêt, et tirent une grande exactitude de la répétition des mêmes événements ; et même c'est pour ce motif que, de toutes les sciences, l'astronomie s'est le plus approchée de la perfection.

L'expérience est un moyen plus efficace que l'observation pour découvrir les secrets de la nature. Sans exiger comme elle la fatigue continuelle de la surveillance, elle acquiert et mérite une grande confiance par le contrôle que l'observateur peut exercer à son gré sur les phénomènes, en retardant ou hâtant les effets qu'il désire. Quoique les modernes puissent s'attribuer l'honneur de l'avoir plus fréquemment employée, les anciens n'ignoraient pas entièrement ses procédés, et ils semblent avoir caché les notions qu'ils en avaient, sous le voile enchanteur de l'allégorie. Protée désignait les changements et les métamorphoses des objets matériels, et les poètes conseillaient au philosophe scrutateur de guetter l'instant où le démon glissant, viendrait

commeiller sur le rivage, pour l'enchaîner, et contraindre ce captif rebelle à révéler ses secrets (1). Peinture vivante de la conduite prudente, mais incrépide, d'un habile expérimentateur, celui-ci doit en effet s'appliquer à captiver la nature, à séparer les différentes causes d'une action produite, à faire ressortir l'agent prédominant, et à éliminer, autant que possible, les causes perturbatrices. Par la réunion de toutes ces précautions, il parvient à obtenir un résultat simple, dégagé de tout mélange et non mixte, comme ceux qui se présentent à nous dans le cours ordinaire des circonstances. Par ce moyen, l'action de chaque cause est rendue distincte et capable d'être développée séparément.

Le point principal, dans les recherches physiques, est donc de séparer, par des procédés analytiques, les divers effets que la nature a combinés les uns avec les autres. L'histoire de l'astronomie, depuis les temps les plus reculés, nous donne des exemples frappants de ses inductions successives. Le vrai philosophe travaille à réduire le nombre des principes ou faits primitifs : à mesure que ses vues s'étendent, il découvre des relations nouvelles, qui toutes convergent vers un centre commun ; mais il doit éviter de trop se livrer à ce goût des simplifications. En remontant à la source de tout

(1) Ses regards pénétrants, son vaste souvenir
Embrassent le passé, le présent, l'avenir

.

Par lui tu connaîtras d'où naissent tes revers.
Mais il faut qu'on l'y force en le chargeant de fers ;
On a beau l'implorer, son cœur sourd à la plainte,
Résiste à la prière, et cède à la contrainte.

pouvoir, il est évident qu'il trouvera une limite insurmontable. La prudence lui dit quand il doit s'arrêter, à moins qu'il ne découvre quelque nouvel instrument pour continuer ses recherches.

Tout agrandissement de nos puissances mathématiques, toute addition faite aux richesses du domaine de la physique, tout perfectionnement apporté dans la construction des appareils, est un prélude à l'avancement de la science; même de légères altérations dans la pratique des arts ont quelquefois eu des résultats importants pour les conséquences théoriques. La jalousie accorde souvent au hasard tout l'honneur d'une découverte scientifique; mais l'intervention du hasard dans ces recherches ne devrait rien ôter au mérite de l'invention. En effet, de tels événements pourraient passer inaperçus devant les yeux du commun des hommes; et il n'y a que l'œil du génie qui puisse saisir les rayons d'une lumière fortuite, et discerner la série des conséquences qu'ils révèlent. Dans tous les âges, on a vu avec indifférence les fruits tomber sur le sol; cependant le spectacle accidentel de la chute d'une pomme fut suffisant pour réveiller dans une intelligence profonde, cette série de réflexions sublimes qui conduisirent Newton à la découverte du système de l'attraction universelle. La perte de l'électricité par les pointes métalliques qui ne servait qu'à produire des divertissements, conduisit l'immortel Franklin à la découverte du paratonnerre, à laquelle on faisait allusion en peignant sa conduite politique contre l'Angleterre :

*Eripuit cælo fulmen sceptrum que tyrannis ,
Ravit au ciel la foudre et le sceptre aux tyrans.*

Après que de nouveaux faits ont été découverts, soit par une sévère observation, soit par des expé-

riences soigneusement faites , on doit avoir recours aux procédés et aux conséquences que nous donne la synthèse. Mais pour monter avec succès les degrés de l'échelle des conséquences , il faut être doué d'un jugement sain , d'une intelligence puissante , exercée et conduite par une logique prudente et modérée. L'instrument le plus propre à favoriser et augmenter ces opérations est la géométrie , science à laquelle nous devons , en effet , tout ce qu'il y a de plus positif dans la physique. Par son secours puissant , les plus nobles branches des sciences se sont élevées , dans les temps modernes , à un degré sublime.

Cependant les plus rigoureuses applications des raisonnements mathématiques , ne sont pas toujours utiles à la révélation des secrets de la nature. Le philosophe investigateur doit souvent se contenter de chercher quelque approximation de la vérité. L'analogie , dans ces cas , peut servir de guide assez fidèle pour assurer sa marche. Quelques génies plus heureux avancent , en effet , avec une sagacité qui les trompe rarement ; ils proportionnent la vitesse de leur marche à la quantité de lumière qui les éclaire : la géométrie , dans ce cas , prête encore son assistance active.

Les hypothèses , quoique exposant aux abus , ne doivent pas être bannies absolument du domaine de la physique ; car souvent elles suggèrent de nouveaux modes de recherches , et produisent alors des résultats avantageux. Elles peuvent aussi servir de préludes aux recherches ; mais elles sont généralement trop attrayantes et trop trompeuses , pour qu'on doive leur permettre de rester long-temps en possession de l'esprit.

Le don d'une imagination active est nécessaire à tout expérimentateur. Cette faculté a toujours pré-

sidé à toutes les grandes découvertes. L'imagination des philosophes diffère de celle des poètes, en ce point seulement qu'elle enfante des images moins vivantes; mais elle est aussi créatrice, et aussi agile à saisir les scènes passagères de la nature. Elle fournit sans cesse à l'expérimentateur de nouveaux expédients; elle lui donne des moyens de multiplier les points d'attaque, et répand un lustre magique sur les tableaux qu'il contemple. Eh! l'imagination d'Archimède n'était-elle pas aussi puissante, aussi violemment embrasée que celles de Corneille, Racine ou Molière, quand, transporté d'un élan sublime, et déchirant, pour ainsi dire, le voile de la nature, son génie vit; dans toutes ses conséquences, dans tout son jour, cette vérité féconde et fondamentale de toute l'hydrostatique; lorsqu'enfantant de nouveaux prodiges, et séparé en quelque sorte de son corps, il méditait ces combinaisons de machines, par lesquelles un seul homme était formidable à toute une armée, et n'entendait pas les menaces du barbare qui l'égorgea! heureux de rêver encore le salut de son pays, qu'il avait si long-temps conservé, immortalisé par ses actions passées, et heureux, même en mourant, de ne pas survivre à la liberté de sa patrie.

Mais l'imagination a besoin de subir le frein d'un jugement solide. Le philosophe pousse ses recherches avec ardeur, et néanmoins conserve la prudence et la réflexion dans les conséquences qu'il doit en déduire. Son attention est attirée même par l'apparence de quelque anomalie. Pendant qu'il doute et qu'il réfléchit, il sait, au milieu de son inquiétude, puiser du courage dans l'espérance de plaisir prochain de faire ressortir quelque nouveau principe. La démonstration d'une seule erreur est un pas assuré vers une découverte.

Tel est le mode fructueux d'interroger la nature. Mais les philosophes de tous les âges se sont trahis par leur vive impatience de se soumettre à un plan d'investigation en apparence si timide, si lent et si laborieux. Il était plus agréable à l'indolence et à la présomption humaine de rêver des hypothèses qui pussent, en imagination du moins, enchaîner la somme de leurs opinions préconçues. Des entreprises si téméraires bercèrent la curiosité endormie, et furent fatales au progrès de la véritable science, en laissant, pendant des siècles entiers, les premiers rayons de l'aurore des connaissances répandre leur lumière incertaine sur l'esprit des hommes.

Les sciences naquirent et eurent leur berceau dans ces contrées où il nous semble que le soleil sort des flots de l'Océan ; mais leurs rayons féconds furent bientôt absorbés par les brouillards mélancoliques du despotisme. Le corps des connaissances créées par les efforts du génie qui ne connaît point de fers, devint la propriété exclusive des prêtres, qui les convertirent en machines utiles à leur pouvoir et à la propagation des ténèbres d'une superstition avilissante. A cette époque de tyrannie et de servilité, les découvertes d'un temps plus heureux furent ensevelies dans le silence et l'obscurité.

Enfin l'aurore d'un jour plus favorable vint réjouir les cieux, et la Grèce, quoique n'étant qu'un point sur la surface du globe, commença la carrière brillante de sa gloire, et répandit les premiers de ces bienfaits qu'elle était destinée à verser sur l'Europe occidentale trop tardive à témoigner sa reconnaissance aux arrière-neveux de ses bienfaiteurs. Les sages de ce pays glanaient des épis peu nombreux, en voyageant sur les terres étrangères et

dans les cités fameuses. Ils rassemblaient les cendres presque éteintes des sciences, les ranimaient au souffle de leur génie, et sortant rapidement de cet état d'enfance, ils déployèrent bientôt les richesses d'une imagination vivifiante et toutes les ressources d'un esprit inventeur et fertile.

Thalès, fondateur de la secte ionique, ayant dépensé un riche patrimoine et consumé beaucoup d'années en des voyages lointains, transplanta dans la Grèce les connaissances des prêtres de la mystérieuse Égypte. Anaximandre et Anaximène, ses successeurs, enseignèrent les mêmes doctrines, en ne les modifiant que légèrement. Leurs connaissances, superficielles en réalité, n'en aspiraient pas moins à de grandes explications. Ils se livraient avec complaisance à leurs systèmes cosmologiques, par lesquels ils avaient la prétention d'expliquer l'origine et la création de toutes choses. D'aussi téméraires spéculations flattaient la vanité humaine et charmaient l'imagination, en lui présentant un fantôme brillant qui semblait être la vérité. Ces premiers sages prétendaient que toutes les substances de la nature résultent de la combinaison, en rapports divers, de quatre éléments distincts, qui sont l'air, l'eau, le feu et la terre. La terre et l'eau étaient considérées comme pesantes et inertes, tandis qu'ils attribuaient au feu et à l'air une vertu élastique, cause de leur légèreté et de leur mouvement. La matière terrestre et pesante occupait le centre, l'eau sillonnait la surface du globe par des torrents et des fleuves, qui s'engloutissaient dans l'Océan où ils prenaient leurs sources, et dont les flots circulaires enveloppaient la terre; l'air et le feu ou éther, s'envolaient en haut, en occupant, le premier, toute la région sublunaire, le second, l'étendue infinie de l'espace, où ce fluide pur et subtil engen-

drait, par sa condensation, les flambeaux de la voûte azurée. Cependant quelques portions de cette divine essence descendaient ici-bas, pour animer les êtres, en leur communiquant une étincelle vivifiante. Ces visions et ces rêves fantastiques, ainsi parés, firent les délices des premiers âges; plus tard, ils furent reçus dans le vulgaire, et même encore aujourd'hui, ils donnent de la couleur au langage poétique.

Anaxagore, qui continua l'école ionienne, s'éleva à une plus grande hauteur; il abandonna une brillante fortune, et consacra la meilleure partie de sa vie à la recherche des connaissances, chez les prêtres de l'Égypte et les mages de la Perse; et, de retour en Grèce, il fut engagé, par la crainte des conquêtes étrangères, à transporter l'école d'Ionie à Athènes. Son éloquence et son savoir produisirent une puissante impression sur cette cité spirituelle; mais quoique anticipant, dans son obscur langage, sur les découvertes modernes, il attira sur lui la haine des ignorants et des esprits étroits, en développant des idées contraires aux opinions accréditées.

L'île de Samos eut l'honneur alors de donner naissance à Pythagore, le premier des sages qui ait pris le nom modeste, mais propice, de *philosophe* ou *ami de la sagesse*. La nature le favorisa de ses dons les plus précieux, et un travail assidu éleva encore ces qualités qui donnent de l'empire sur l'esprit des hommes. Pythagore sacrifia sa grande fortune et la majeure partie de sa vie à acquérir des connaissances. Il fut admis aux mystères de Memphis; il demeura quelque temps en Phénicie, visita la Perse, et poursuivit ses voyages en Orient jusqu'aux bords de l'Indus, d'où il rapporta le système de la métempsycose, que des savants, au nombre des-

quels figurait avec honneur le modeste de Chézy, ont retrouvé exactement le même, et peut-être plus parfait encore, dans la langue sacrée de l'Inde, le samskrit. Après une absence d'environ trente ans, il retourna chargé du butin de ses connaissances variées, et vint se présenter à l'admiration et aux respects de ses concitoyens assemblés aux jeux olympiques. Il professa d'abord dans son île natale, mais bientôt il se rendit dans une colonie grecque, fondée à Tarente sur les côtes de la Calabre. Dans cette cité voluptueuse, il eut un grand nombre d'élèves, et fonda l'institut italique qui subsista pendant le cours de plusieurs siècles après sa mort.

Pour ne pas heurter les préjugés de ses compatriotes, Pythagore jugea convenable de partager sa doctrine en deux parties distinctes, *exotérique* et *ésotérique*. La première consistait en discours adressés au peuple dans les temples et autres lieux publics, et composés pour réformer leurs mœurs et leurs mauvais penchants; l'autre contenait les principes secrets qu'il ne communiquait qu'au petit nombre de ses disciples qui, après des épreuves longues et sévères, étaient jugés dignes dépositaires de ces vérités. Il poursuivit vigoureusement l'étude des mathématiques, et spécialement les branches qui traitent des nombres et des proportions. Ayant l'imagination remplie de relations numériques, il fonda la théorie de la musique qu'il cultiva en artiste et en savant. Ensuite il transporta ses idées de musique à l'harmonie des mouvements célestes; et s'élevant à la sublime conception du véritable système de l'univers, il semble avoir caché cette grande découverte sous le voile d'une ingénieuse allégorie. Sous l'emblème d'Apollon modulant sur la flûte, il montrait à ses disciples choisis, que toutes les planètes, ainsi que la terre, sent des

mondes habités qui roulent sans cesse autour du soleil, leur centre commun; et il soutenait ensuite que ces corps, en circulant autour du flambeau de l'univers, formaient les plus harmonieux accords, quoique des sons aussi divins, aussi ravissants, fussent perdus pour nos oreilles grossières, étouffés en quelque sorte par le tumulte discordant qui règne ici-bas sur cette terre de misères.

« Il pensa apparemment, dit le savant et infortuné Bailly, que les sensations des objets infiniment grands, comme celle des infiniment petits, échappaient à nos sens bornés. Il posait la distance de la lune à la terre pour un ton (il estimait cette distance 126,000 stades italiques); de la lune à Mercure, un demi-ton; autant de Mercure à Vénus; de Vénus au soleil, un ton et demi; du soleil à Mars, un ton; de Mars à Jupiter, un demi-ton; de Jupiter à Saturne, un ton et demi. Ce qui fait l'octave de sept tons ou le diapason. Il n'est pas nécessaire de dire que ces rapports des distances des planètes sont faux. On ignore si Pythagore avait été conduit à cette idée par les distances mal connues des planètes, ou si, prévenu de l'harmonie chimérique des astres, il avait déduit la proportion de leurs distances, des intervalles qui sont entre certains accords. »

Le plus distingué des élèves de Pythagore fut Empédocle, d'Agrigente en Sicile. Il considérait les corps comme composés de particules infiniment petites qui étaient dans un état perpétuel de mouvement, et qu'enchaînait les unes aux autres la force inhérente à la matière, et que séparait une force opposée à celle-ci. Il fit faire un grand pas aux sciences physiques, en introduisant le jeu de deux principes opposés, qu'il désignait, dans le langage figuré, par le nom d'*amitié* et *inimitié*, action tout-

à-fait semblable à nos forces d'*attraction* et de *répulsion*, qui rendent de si grands services aux théories physiques des temps modernes.

Xénophanes transporta un grand nombre des idées pythagoriciennes dans la secte peu nombreuse qu'il fonda à Elée en Campanie. Il est le premier qui ait eu l'honneur d'établir ce principe de géologie, que la croûte extérieure de notre globe fut primitivement à l'état liquide, que les coquilles fossiles et les autres dépouilles découvertes dans les entrailles de la terre et au sommet des plus hautes montagnes avaient été, à une époque reculée, formées sous les flots de l'Océan.

Leucippe, qui sortit de cette école, soutint non-seulement la doctrine des atomes, mais aussi l'existence du *plein*, et anticipa sur les connaissances de la force centrifuge. Ces doctrines furent étendues et perfectionnées par Démocrite, son disciple, qui florissait au temps de la guerre du Péloponèse, et qui peut être considéré comme un des plus grands génies que la Grèce, si fertile en talents, ait jamais produits. Pour atteindre le plus haut degré des connaissances, il visita l'Égypte, il conversa avec les mages de Babylone, et il semble avoir poursuivi ses voyages orientaux jusqu'aux rives du Gange. Les dépenses qu'il fut obligé de faire dans ses courses absorbèrent son patrimoine, et notre philosophe, à son retour, se contenta de la jouissance d'un petit jardin situé près d'Abdère, et dans lequel il passa une longue vie dans la pauvreté et la retraite, occupé sans relâche du soin de faire des expériences et de découvrir les opérations de la nature. Il rectifia beaucoup d'erreurs accréditées en physique; il montra que l'existence du *plein* était incompatible avec le changement de lieu, rejeta la légèreté attribuée à l'air et au feu, soutint

que le poids des corps est toujours proportionnel à leur masse ou à la quantité de matière, et que, par conséquent, dans le vide ils tomberaient tous avec une égale rapidité : il avait également des vues généralement assez exactes sur la nature du feu et de la lumière. Ces idées se trouvent exposées dans le beau poème de Lucrèce, qui applique à ce grand philosophe les mots de *pater* et de *rerum inventor*.

Les sectes philosophiques étaient nombreuses dans la Grèce, quand Socrate vint imprimer une direction plus utile à l'esprit humain. Il ridiculisa les misérables sophismes et les rêves illusoire des savants charlatans de son époque, et il pensa que le premier pas à faire vers les connaissances réelles, était de bien sentir toute l'étendue de notre ignorance. Son grand désir était moins de perfectionner l'éducation d'un petit nombre d'individus, que de répandre une instruction solide sur la jeunesse d'Athènes tout entière. Ennemi des vaines spéculations, il recommandait cette seule philosophie qui est fondée sur les faits et l'expérience. Il avait coutume de montrer le plus profond mépris pour tous les genres d'hypocrisie et de prétention. Mais sa conduite courageuse et sa grande célébrité lui attirèrent une foule d'ennemis secrets, et enfin, cet homme vénérable, condamné à la ciguë, succomba martyr de la vérité et de la vertu.

Platon, le plus illustre des disciples de Socrate, sortit de la cité infâme qui s'était souillée du meurtre de son maître révérend, et visita l'établissement des pythagoriciens à Tarente, où il fut initié à tous les secrets de l'école italique. Il se mit sous la conduite de Théodore, mathématicien distingué de Cyrène en Lybie. Puis, l'esprit orné des trésors de deux écoles célèbres, il voyagea déguisé dans toute

l'Égypte, examinant avec soin tous les objets, et recueillant tout ce que les informations pouvaient lui apprendre. La guerre l'empêchant de continuer sa route, il revint dans sa patrie, et acheta dans le voisinage d'Athènes les bosquets d'Académus, dans la solitude et sous l'ombrage desquels il faisait entendre, au milieu d'une plaine éclairée des premiers rayons du soleil, ses leçons éloquentes, à l'élite des jeunes Grecs qui accourait de toutes parts, attirées par la renommée de ce génie *divin*.

La philosophie de Platon était profondément imbuë du mysticisme de l'école italique, cependant, nous lui devons une reconnaissance éternelle pour sa belle méthode d'analyse géométrique, qui donnait un instrument si puissant pour diriger les procédés d'investigation. Cette invention, entre les mains de ses successeurs à l'académie, était continuellement employée à reculer les limites des sciences. Elle conduisit immédiatement à la découverte des sections coniques, qui, quoique cultivée pendant des siècles, seulement comme une spéculation curieuse, suggéra enfin à Galilée les lois du mouvement, et aida Kepler dans ses recherches sur la forme véritable des orbites des planètes. Malheureusement dans cette disposition à prendre son essor, l'académie rejeta l'étude des corps matériels, et fut trop portée à se perdre dans le vague.

Aristote, qui garda si long-temps une autorité despotique sur le monde savant, était né à Stagire, ville située sur les confins de la Thrace et de la Macédoine, 385 années avant l'ère chrétienne. Vingt ans il étudia sous Platon, à la mort duquel il se retira dans Mysie et Mytilène, où il resta jusqu'à ce que Philippe de Macédoine le priât de surveiller l'éducation du jeune prince son fils. Quand Alexandre marcha en vainqueur contre la Perse, Aristote

retourna à Athènes . où il ouvrit l'école péripatéticienne, dans le lieu appelé *Lycée*. Il entretint toujours des liaisons amicales avec le héros macédonien, qui lui prodiguait les plus généreux encouragements pour son ouvrage déjà projeté sur l'histoire des animaux. Le Stagirite, quoi qu'il en soit, ne passa que douze ans à Athènes, et ; craignant l'orage de la persécution, il se retira à Chalcis, où il termina les deux dernières années de sa vie, en se précipitant, dit-on, dans l'Eupe, de dépit de ne pouvoir comprendre le flux et le reflux qui a lieu dans ce détroit.

Pendant un siècle après sa mort, on a laissé moisir dans une cave humide les volumineux écrits d'Aristote, qui ne semblent pas avoir été fort estimés des auteurs grecs et latins. Jamais philosophe ancien ou moderne n'a entrepris un champ aussi vaste de recherches, et cependant son génie universel marquait tout au coin d'un jugement solide, d'une grande précision de pensées, et d'une grande sagacité, qui parfois dégénère même en subtilité.

Quoique ambitieux de conserver un caractère d'originalité dans ses pensées, il s'efforçait d'appuyer toute sa philosophie sur une scrupuleuse observation des faits. Restreignant le vol trop hardi de l'imagination, il appliqua ses recherches aux circonstances de la vie réelle et à la constitution de l'univers. C'est pour cela que ses conclusions sont d'une grande valeur, toutes les fois qu'il pouvait obtenir des renseignements sur lesquels il exerçait sa pénétrante sagacité. L'histoire naturelle d'Aristote doit être considérée comme une production merveilleuse pour le temps où elle fut composée. Il fut le créateur de l'anatomie comparée, et, suivant Cuvier, le plus compétent des juges : les divisions qu'il établit alors sont toujours les meilleures qui puissent être faites. Ce fut lui qui, le premier, dis-

tingua les nerfs des tendons ; il signala les nerfs optiques et acoustiques de la taupe , les nerfs olfactifs et optiques des poissons , et décrivit avec une grande précision le mode d'incubation des œufs et le développement des poulets. Sa Météorologie est remplie de remarques fines et de conclusions exactes ; et même sa Physique et son ouvrage *sur le ciel* (si ce Traité est de lui) contiennent , au milieu de spéculations vaines et extravagantes , quelques opinions qui mériteraient d'être extraites et séparées du reste. Ses idées particulières sont également dignes de considération , pour l'influence qu'elles ont exercée sur l'histoire de la philosophie. Nous devons regretter qu'Aristote ait trop permis à son esprit sévère de se détourner , par l'attrait de la subtilité et l'illusion des hypothèses générales , de l'observation rigoureuse des faits. Si les Péripatéticiens avaient cultivé l'analyse géométrique avec la même ardeur que les sectateurs de Platon , ils auraient fait infailliblement de grands progrès dans la physique.

Un événement survenu alors contribua puissamment à l'étendue continuelle de toutes les branches des mathématiques. Après la mort prématurée d'Alexandre , ses conquêtes furent partagées entre ses compagnons d'armes : l'Égypte échut à Ptolémée qui , choisissant pour résidence Alexandrie occupée par une colonie grecque , s'empressa d'embellir la ville , et de la rendre une école distinguée. Un magnifique édifice fut élevé , et nommé *Museum* , dans lequel les hommes de sciences , appelés de toutes les contrées , étaient libéralement entretenus aux dépens du public , et fournis des livres et des instruments convenables à leurs études. Il fut agrandi encore par la munificence de ses successeurs , qui fondèrent une vaste bibliothèque , et construisirent un observatoire spacieux et bien garni d'instruments astrono-

riques. Cet établissement royal survécut à toutes les vicissitudes de la fortune, pendant un espace de neuf cents ans, et versa sur l'espèce humaine des bienfaits immenses. Une série de très habiles mathématiciens répandit, pendant trois cents ans, un éclat continu sur l'école d'Alexandrie. Euclide réduisit en système les éléments de la géométrie, et publia un ouvrage qui, sans doute, n'est plus au niveau de la science, mais qui était excellent pour son temps; Apollonius enrichit les sections coniques, et perfectionna l'analyse géométrique, dans laquelle il fut avantageusement suivi par Pappus. Dioclès et Nicomède déterminèrent quelques-unes des courbes plus élevés. Diophante porta de semblables recherches dans les problèmes d'arithmétique; et le petit nombre des signes qu'il employait peuvent être considérés comme les avant-coureurs de ce système parfait de caractères, ou de langage écrit, que nous montre l'*algèbre*.

Pendant ce temps, nos connaissances de la surface du globe étaient agrandies par une navigation courageuse, et la mer des Indes était explorée par Néarque, qui suivit l'expédition d'Alexandre dans l'Orient. La république de Marseille, colonie grecque, placée au sud de la France, a le mérite d'avoir, la première, entrepris des voyages de découvertes. Euthymène fit voile vers l'équateur, tandis que Pythéas, astronome habile, dirigeant sa course vers le nord, découvrit Thulé et observa l'aspect des climats voisins du pôle, décrivit le phénomène des marées, inconnu sur les côtes de la Méditerranée, et détermina à son retour l'obliquité de l'écliptique, qu'alors il trouva de $23^{\circ} 48'$. Quelques savants, et feu Gosselin entre autres, contestent à Pythéas l'honneur des découvertes qu'on lui attribue dans le nord-ouest de l'Europe.

La Sicile vit naître alors sur ses rivages que désola aujourd'hui l'ignorance et la barbarie, un des génies les plus puissants de l'antiquité. Dès son enfance Archimède montra une grande aptitude pour les sciences, et après avoir reçu toute l'instruction qu'il pouvait puiser à Syracuse, sa patrie, il visita la fameuse Alexandrie et les sociétés étrangères de prêtres. Après son retour, il se livra entièrement au charme des études abstraites, et poursuivit ses profondes recherches avec l'application la plus vive et la plus soutenue. Il apporta de grands perfectionnements à la manière d'écrire les nombres : il trouva la théorie des nombres premiers, qui le conduisit aux plus belles découvertes de la géométrie ; il fit connaître la quadrature de la parabole, l'approximation de celle du cercle, et les relations qui existent entre la sphère et le cylindre circonscrit. Archimède doit être considéré comme le premier qui ait étudié la physique suivant des méthodes exactes. Ses découvertes sont admirables en ce genre. Il trouva les principes qui servent de base à la mécanique et à l'hydrostatique, et sut éclairer ces sciences du flambeau de la géométrie ; il enseigna les propriétés du centre de gravité, dont il démontra la position dans des corps de figures différentes ; il démontra les lois des corps flottants, et traça ainsi les éléments des constructions navales. Il mit ces principes en pratique, et construisit des machines si parfaites, que pendant trois ans elles permirent aux Syracusains de résister à tous les efforts de l'armée romaine qui assiégeait les remparts de leur ville. Mais enfin, comme la fureur et la barbarie sont toujours victorieuses, Syracuse succomba aux horreurs d'un assaut, et fut enveloppée dans une nuit fatale. Au milieu du tumulte et du carnage, un soldat furieux entra dans les lieux où se trouvait

Archimède, et, sans égard pour ses paisibles occupations; il massacra, comme nous l'avons dit, le grand homme à la 75^e année de son âge, et la 212^e avant J.-C.

Les sciences géométriques avaient alors acquis plus de régularité et de consistance; l'astronomie avait étendu son domaine. Aristarque de Samos inventa une méthode ingénieuse pour évaluer la distance relative du soleil à la lune; et, quoique muni d'instruments imparfaits ne donnant que des résultats incertains, il ne laissa pas d'arriver à des conclusions qui étaient de nature à développer immensément nos idées sur le système solaire. Eratosthène observa avec précision l'obliquité de l'écliptique, et détermina la circonférence de la terre en mesurant l'arc du méridien entre Syène, dans la Haute-Egypte, et Alexandrie. Mais Hipparque était un homme d'un ordre plus élevé. Il trouva la véritable longueur de l'année, la distance de la terre à la lune, et la valeur approchée de celle du soleil; il discerna l'inégalité des intervalles qui s'écoulaient entre deux équinoxes, et assigna leur précession. Cette belle découverte lui fournit un mode de déterminer et de décrire la position des principales étoiles fixes. Bientôt il transporta la même méthode aux observations terrestres, et c'est lui qui, le premier, détermina la position d'un lieu sur la terre par sa longitude et sa latitude. Sans le rejet du vieil axiome, qu'un mouvement uniforme et circulaire pouvait seul donner cette apparence aux corps célestes, il aurait cherché à expliquer les inégalités apparentes, par l'ingénieuse hypothèse de l'excentricité sans des épicycles qui, dans la suite, embarrassèrent tellement la science.

Ptolémée, qui résidait à Alexandrie, après que l'Egypte fut devenue une province romaine sous les

empereurs Adrien et Antonin, était un des observateurs les plus infatigables qui jamais aient existé. Génie moins inventif qu'Hipparque, il appliqua tout son zèle au perfectionnement de l'astronomie. Il ne perfectionna pas seulement chaque partie de la science ; mais il la réduisit même en un grand système, d'après les diverses données qu'il possédait. Il découvrit le mouvement de la lune et la réfraction céleste ; il composa aussi un traité général de géographie, et appliqua, à la construction des cartes, la théorie des projections due à Hipparque. L'étude de la trigonométrie sphérique trouvée par ce dernier, étendue ensuite par Théodose et Ménélas, fut introduite dans la pratique par Ptolémée.

D'autres philosophes d'Alexandrie s'appliquèrent à la mécanique. Ctésibius perfectionna la clepsydre, inventa la pompe, construisit une machine pour lancer des flèches par le ressort de l'air condensé. Héron ne fit pas seulement la grue, mais il imagina aussi des machines qui agissaient par l'élasticité de l'air qu'elles renfermaient, élasticité variable suivant la chaleur ou le froid, principe qui conduisit plus tard Sanctorius et Galilée, d'autres disent Drebbel, à la construction du thermomètre.

Le génie de la Grèce tombée sous l'oppression, se perdait à la fin en discussions inutiles. Les Romains étaient alors les maîtres du monde, et aucun peuple ne mérita moins les faveurs de la fortune et la reconnaissance de la postérité. Dans tout le cours de leur tyrannique existence, ils ne firent pas un seul pas vers le perfectionnement des sciences. Toutes leurs connaissances dans les arts ou la philosophie leur venaient immédiatement des Grecs. Leur instruction ne s'élevait à aucune théorie ; et ne tendait à former que des orateurs ou des hommes d'état.

Une autre nation acquit une grande influence, celle des Arabes qui, enflammés par l'enthousiasme de leur nouvelle religion, répandirent la terreur de leurs armes dans toutes les directions. Ils subjuguèrent l'Égypte, la Syrie, la Perse, et resserrèrent les limites des empires orientaux ; à l'ouest, ils occupèrent l'Espagne, et pénétrant au centre de la France, ils cherchèrent à étouffer le nom chrétien. Mais l'effervescence de leur zèle calmée bientôt, et leurs plans d'ambition restreints, se convertirent, à la longue, en amour des arts paisibles. Les Arabes s'attachèrent passionnément aux idées des Grecs ; ils recueillirent tous les ouvrages philosophiques de ce peuple admirable, et les traduisirent dans leur langue. Une suite de princes éclairés encouragèrent ces efforts avec une munificence sans bornes et inconnue de nos jours. Les califes garnirent leurs palais de bibliothèques publiques, et les embellirent de majestueux observatoires.

Les Arabes cultivaient particulièrement la géométrie et l'astronomie, mais ils ne négligeaient pas la botanique et la chimie. Moins portés que les Grecs aux spéculations théoriques, ils dirigèrent leurs principaux efforts vers la pratique des sciences. Ils ne tardèrent pas à devenir meilleurs mathématiciens et plus habiles observateurs ; ils substituèrent dans la trigonométrie les *sinus* aux *cordes*, et perfectionnèrent cette branche des calculs, en introduisant les *tangentes* qui, en faisant allusion à la gnomonique, furent appelées *ombres* ; mais le plus grand bienfait qu'ils aient rendu au genre humain est l'introduction du système de numération décimale. Cette méthode, aussi simple que belle, nommée par eux *indienne*, existait déjà dans les Indes, comme nous l'apprennent ceux qui en ont étudié la langue sacrée ; mais elle n'était pratiquée que dans

un pays, d'où elle ne nous serait guère parvenue par une autre route. Elle ne semble pas avoir été mise en usage avant la fin du dixième siècle de notre ère. L'usage de compter sur ses doigts ayant passé du royaume des Maures en Espagne, fut transporté de là chez les diverses nations de l'Europe, vers le commencement du quatorzième siècle, quoiqu'il ne fut adopté qu'environ deux cents ans plus tard.

Quoique les Arabes n'aient guère de droits à une originalité différente de celle qui créa les *Mille et une Nuits*, cependant ils ont le mérite d'avoir toujours mis un grand zèle à recueillir de toutes parts les procédés utiles. Ils connaissaient la distillation et la brasserie, arts inconnus chez les Grecs et les Romains, mais qu'ils semblent avoir puisés chez les hordes tartares. Ils inventèrent d'autres procédés chimiques, donnèrent aux vases de certaines formes, et des noms qui leur sont toujours restés, comme alambic, etc.

Durant cette période, d'épaisses ténèbres se répandirent sur les plus belles contrées du monde chrétien. Le dépôt des connaissances humaines fut recueilli par les couvents, tandis que les esprits les plus actifs épuisaient leur énergie dans des luttes violentes ou d'atroces déprédations. Cependant au moyen âge le flambeau du talent ne s'éteignit pas, quoiqu'il pâlit de manière à le faire craindre. En Europe, la superstition encourageait les pèlerinages, et chaque couvent ouvrait indistinctement ses portes hospitalières au voyageur fatigué. Rome était toujours le centre de la république chrétienne, et de toutes parts on voyait affluer vers cette métropole, des voyageurs par l'intermédiaire desquels l'Italie réfléchissait sur les parties reculées de l'Europe l'éclat de sa civilisation.

Mais les croisades, entreprises contre les Sarrasins, du XII^e au XIV^e siècle, quoique excitées par le plus farouche fanatisme, par la passion sanguinaire et sauvage des exploits militaires, peuvent cependant être regardées comme la cause principale du renouvellement de l'esprit humain. Ces armements dispendieux, épuisant les fortunes de tous les chefs orgueilleux, contribuèrent à élargir et limer les chaînes de la féodalité; et donnant une plus libre circulation aux richesses, montrèrent graduellement que le boulevard d'un état libre consiste dans cette classe moyenne trop souvent envieuse des prérogatives que donnent le hasard et quelquefois le mérite, prérogatives dont elle est trop vaine ensuite quand elle est parvenue à les acquérir, même à prix d'argent ou par la bassesse. Les croisés eux-mêmes, durant les armistices, ne pouvaient manquer, en fréquentant les Sarrasins, qui les surpassaient de beaucoup en connaissances et en courtoisie, d'acquérir des notions importantes dans les sciences et les arts. C'est à cette origine que l'on doit rapporter le plus grand nombre des perfectionnements qui ont fait avancer les sociétés européennes dans la route brillante et fleurie de la civilisation.

Mais le génie ne resta pas entièrement plongé dans l'inaction durant le moyen âge, qui vit naître quelques-uns des arts les plus utiles. Les procédés curieux, pour convertir le coton en papier, furent trouvés au commencement du XI^e siècle. Trois cents ans après, les chiffons de lin furent convertis en cette substance précieuse qui, avantageusement substituée au parchemin ou vélin, contribua beaucoup au perfectionnement de l'écriture. Vers la même époque, les caractères furent grandement perfectionnés par l'introduction des loupes, que Salvino degli Armati construisit environ vers l'an

1285. De petites sphères de verre ou de cristal avaient été employées dès les époques reculées, pour aider la vue des graveurs de pierres précieuses ; mais le passage de ces globes aux lentilles convexes, quoique peu important en apparence, conduisit aux plus grandes conséquences.

Quoique la puissance attractive de l'aimant fût connue des Grecs, on ignorait sa propriété la plus curieuse, celle de se diriger vers le nord. Cette puissance directrice nous semble avoir été découverte par les Chinois, et quelques notions de cela paraissent avoir été rapportées de l'Orient par les croisés. C'est pour cette propriété que l'aimant reçut les noms de *Pierre directrice*, *Pierre de l'Ourse*, etc. La première boussole en Europe fut construite à Gênes vers le XIII^e siècle. Cette belle invention fit prendre un grand essor à la navigation et aux entreprises commerciales : elle conduisit Gama au cap des Tempêtes, et Christophe Colomb vers ces plages nouvelles, dont la découverte devait immortaliser un autre nom que le sien, celui du marchand Améric Vespuce.

Depuis long-temps les Orientaux avaient connaissance de la déflagration du nitre ou salpêtre mêlé au charbon et au soufre ; mais quand cette substance merveilleuse fut importée en Europe par les croisés, elle fut confondue par ses apparences avec le natron ou soude boratée. Plus de deux siècles s'écoulèrent avant que l'on connût sa force explosive.

Cette importante découverte, qui fut faite probablement par Schwartz, moine allemand, vers l'an 1382, étendit le pouvoir de l'homme sur la nature, en lui faisant le présent d'une force nouvelle et imposante, qui, quoique employée à l'anéantissement par l'homme toujours ingénieux à détruire,

devait aussi rendre les guerres moins acharnées et moins sanguinaires qu'auparavant.

Un plus noble trophée illustra la même période. Les Romains avaient employé, pour différentes choses, des planches de métal; les Chinois avaient gravé des morceaux de bois; mais l'art moderne de parvenir au même but au moyen de caractères mobiles, fut inventé vers le milieu du xv^e siècle. Le génie et la persévérance de Guttemberg et de Schœffer, aidés des richesses de Faust, bourgeois de Mayence devenu le sujet de tant d'écrits phantastiques, ont répandu sur l'espèce humaine le plus grand bienfait qui jamais lui ait été offert. Dans le court espace de trente ans, cet art inappréciable fut porté à une très haute perfection.

L'Allemagne vainement prétend que Schœffer, environ vers 1491, exécuta pour Arndes, bourguemestre, une série de gravures de plantes et d'animaux, car aujourd'hui l'on sait que nous sommes redevables à l'Italie de l'invention de la gravure, à laquelle les Nielles donnèrent naissance. Cette émulation de génie était en harmonie avec l'état des sociétés européennes. Le goût des connaissances s'était beaucoup propagé. Le clergé romain répandait avec empressement l'instruction, comme un moyen d'agrandir son ordre. Dans tous les couvents et les chapitres, ils avaient ouvert des écoles; et une partie des énormes revenus de l'église, était consacrée à l'éducation gratuite de la jeunesse. D'autres écoles furent établies pour la communication de leur haut degré d'instruction, qui était grandement facilité par l'adoption du langage latin répandu dans toute la chrétienté. Ces séminaires s'étant étendus jusqu'à embrasser les connaissances des arts libéraux, reçurent le nom d'études générales; mais plus tard, ayant obtenu leur sanction

par la bulle du pape et la protection des lois, ils prirent le titre d'université. Un apprentissage de sept ans, imité ensuite dans les professions mécaniques, fut exigé pour compléter le cours d'éducation, et forma le *trivium* que suivait le *quadrivium*. Les préceptes d'Aristote étaient exposés avec une constance infatigable ; mais ces opinions, tirées de l'Arabie, avaient été malheureusement corrompues par une double traduction. La vigueur du génie, qui mieux dirigée, aurait pu s'élever à des découvertes sublimes, était consumée dans de vaines disputes et des subtilités inutiles.

Mais alors une époque plus brillante arriva pour l'Europe. Pétrarque, puisant à la source pure du savoir antique, et plein d'un enthousiasme vigoureux et d'une brûlante éloquence, fit une impression profonde sur l'esprit de ses contemporains. L'étude du grec fut successivement introduite en Italie par les ambassades fréquemment dépêchées de Constantinople pour implorer le secours du saint siège de Rome contre les usurpations des Turcs. La munificence protectrice de la famille des Médicis créa et répandit le goût des connaissances libérales. Les acheteurs royaux n'épargnaient pas la dépense pour les collections de manuscrits dispersés, et ils invitaient les savants de toutes les parties du Levant, par un salaire convenable, à enseigner la langue pure de l'ancienne Grèce. La prise définitive de Constantinople par les Turcs, en 1453, opéra une dispersion générale des hommes de lettres, qui transportèrent en Italie les débris du naufrage de la philosophie grecque, que le nouvel art de l'imprimerie empêcha de sombrer sans retour.

Tout conspirait à exciter une fermentation générale : la rapidité des presses multipliait les monuments de l'ancienne littérature, mais il fallait le

travail d'un siècle pour mettre en ordre et corriger ces restes précieux. La vénération accordée à ces compositions incomparables, satisfit pour un temps l'activité de la curiosité naturelle de l'homme. Les controverses religieuses, quoique devant produire un grand bienfait pour la société, suspendirent pendant quelques années l'exercice des facultés de l'esprit. Enfin le génie de l'invention animé d'un nouveau pouvoir, s'élança avec impétuosité. Ainsi l'aurore de la raison doit dater sa naissance du milieu du seizième siècle, époque depuis laquelle les torrents des découvertes ont formé un fleuve rapide et majestueux. Les arts et la philosophie marchant de front s'éclairèrent mutuellement de leurs flambeaux. Un peu plus de deux siècles s'étaient écoulés, époque d'une extrême activité dans la recherche des médailles.

Le siècle de la science succéda à celui de l'érudition. L'étude des classiques anciens avait inspiré le goût et la vigueur; mais les hommes sentirent bientôt leurs propres forces et se hâtèrent de les montrer. Des esprits puissants, énergiques, brisant le joug de l'autorité classique, remirent en question les idées reçues depuis long-temps, et contemplèrent d'un œil imperturbable le vaste champ des connaissances humaines. Copernic rétablit en partie le véritable système du monde; Purbach et Müller abrégèrent les calculs astronomiques par leur perfectionnement remarquable de la trigonométrie; Ubaldi, et plus spécialement encore Stévin, étendirent les principes de mécanique et d'hydrostatique. Le génie perçant de Galilée découvrit et appliqua les lois du mouvement, inventa de nouveau et construisit le télescope, qui avait été aussi trouvé dans le nord de la Hollande. Ce merveilleux instrument fut dirigé vers les cieux, y fit découvrir les phases des planètes, et montra l'harmonie des mondes nouveaux.

L'imagination forte et fertile de Kepler, travaillant sur les catalogues des observations, soigneusement faites par *Tycho de Brahé*, et secourue par un travail opiniâtre des calculs et des combinaisons, déchira le voile, et offrit à nos regards les lois qui gouvernent les révolutions des corps célestes. Une puissante ressource manquait alors aux calculateurs, et Napier s'immortalisa par la découverte des logarithmes.

Les alchimistes, quoique extravagants dans leurs prétentions, contribuèrent à l'avancement de la science. Jean-Baptiste Porta ne se borna point à recueillir les faits curieux qu'il observa dans ses voyages, mais encore, de retour à Naples, il fonda une société dont les membres avaient pour but l'exploration de la nature. Cette société obscure fut la mère de toutes les institutions et les académies érigées plus tard en Italie pour les recherches physiques dues à cette terre classique. L'exemple se répandit rapidement en l'Europe.

Enfin la lumière des sciences pénétra en Angleterre, et le dix-septième siècle naquit avec les travaux heureux de Gilbert de Colchester, dont le haut mérite n'a pas encore reçu une juste récompense d'éloges. Son traité sur l'aimant était un modèle de l'application de l'analyse philosophique ; il réduisit avec sagesse les faits nombreux à un petit nombre de principes généraux, et jeta, par la même occasion, quelques lumières sur d'autres branches de la science. Gilbert, outre la théorie du magnétisme terrestre, conduisait à donner des bases à l'électricité.

Kepler avait réduit en système les principes ordinaires de l'optique. Bientôt Snellius découvrit la loi d'incidence et de réflexion que Descartes simplifia et appliqua ensuite à l'explication de différentes propriétés de la lumière et du brillant phénomène

de l'arc-en-ciel; mais la pénétration de ce même génie, appliquant l'algèbre à la géométrie, produisit une révolution mémorable dans les recherches mathématiques, et qui fut accompagnée des plus hautes conséquences. L'Italie présenta le thermomètre, qui ne fut porté à la perfection que plus d'un siècle après. Le même pays produisit aussi le baromètre, que Torricelli inventa après la mort de Galilée, son maître. Otto de Guerrick en Allemagne, suivant une route différente, imagina la machine pneumatique, qu'il employa aux recherches de différents phénomènes importants. Ces deux instruments concoururent à établir l'existence de la pression atmosphérique, et à réfuter les plus anciennes erreurs qui infestassent la physique. Les doctrines d'Aristote avaient fréquemment été attaquées en particulier, et n'inspiraient plus la même confiance et la même vénération. Mais il était réservé au génie pénétrant de Descartes de démolir complètement cet édifice imposant. Original et fécond, il s'éleva au-dessus de l'influence des préjugés, et se rangea librement du côté des véritables connaissances. Malheureusement il ne marcha pas lentement sur les traces de l'analyse physique, mais il se précipita hors de la route, ambitieux d'ériger un grand système. Les principes de Descartes, après diverses modifications, conservèrent leur ascendant sur la plus grande partie de l'Europe, pendant environ un siècle, et loin d'arrêter l'essor des sciences naturelles, elles éteignirent pour toujours les disputes scolastiques, en semant sur leurs débris des germes féconds en belles choses.

La haute géométrie, cet instrument des plus sublimes découvertes, n'avait pas encore fait de rapides progrès. Cavalleri avait inventé sa méthode des nombres indivisibles; Wallis, son arithmétique des infinis; Jacques Gregory et Mercator, la théorie des

séries; Barrow et Roberval, dans leur manière de mener les tangentes, avaient donné les premières notions du calcul différentiel. La théorie du choc des corps, exposée d'abord par Descartes, avait été complétée et corrigée par Wallis et Wren. L'ingénieux docteur Hooke avait enrichi la mécanique de plusieurs découvertes. Huyghens, qui le surpassa de beaucoup dans les mathématiques, ayant recherché les propriétés des corps oscillants, les appliqua le plus habilement à la régularisation des montres et des horloges, en combinant leur mouvement avec un pendule ou un ressort. Mais cet habile philosophe poursuivant ses analyses plus avant, fonda la théorie si féconde des forces centrifuges.

La science prenait un vol plus élevé, quand Newton parut et ravit à tous la palme du triomphe. Cet immortel génie réduisit les lois empiriques de Kepler au seul principe de l'attraction, et partant de ce principe, il déduisit par des combinaisons synthétiques les grands phénomènes de l'univers. Ses conclusions étaient en général des plus heureuses, et quand les calculs étaient insuffisants pour approcher des résultats, il y suppléait par quelque procédé que lui suggérait une sagacité qui ne fut jamais surpassée. Cette pénétration qui le conduisait à travers les espaces célestes, pouvait définir la figure de la terre et calculer les marées de l'Océan. Les propriétés de l'eau et de l'air, le mouvement des courants, la propagation du son, furent aussi rangés dans le domaine de la géométrie. Mais la marche analytique dirigée vers la décomposition de la lumière, dans une série d'expériences concluantes, découvrit des merveilles encore plus grandes. Les recherches délicates de Newton en optique, commencèrent et terminèrent, après une longue interruption, ses travaux scientifiques.

Newton et Leibnitz découvrirent séparément, à

peu près à la même époque, la méthode des fluxions et des fluants, ou les calculs différentiel et intégral. Le premier établit les principes avec une plus grande sévérité de logique ; mais le second adopta une annotation préférable. Cette annotation supérieure a principalement contribué à l'extension prodigieuse que la haute analyse reçut sur le continent. Newton lui-même ne fit que peu de progrès dans le calcul intégral, qui fut ensuite enrichi en Angleterre par Taylor, Cotes et Maclaurin, Leurs travaux, quoique célèbres, peuvent à peine supporter la comparaison avec ceux des Bernouillis, du grand Euler, de d'Alembert et de Clairaut, dont le vol fut si élevé.

Le système de la physique mécanique venait d'être basé sur un fondement solide, quoique plusieurs parties de l'édifice restassent encore à construire. Røemer avait montré que la lumière se répand avec une rapidité prodigieuse, et Bradley, fit avec une rare habileté, l'application de cette découverte à l'aberration de la lumière des étoiles fixes, que la délicatesse du secteur zénithal l'avait rendu capable de découvrir. La doctrine de Newton éprouva encore quelques oppositions sur le continent de la part de l'ascendant que possédaient précédemment des idées de Descartes. Mais la mesure d'un degré du méridien pris sous le cercle arctique et sous l'équateur, vers les années 1736 et 1742, donnant des résultats conformes à la théorie de l'attraction, décida la victoire en faveur de Newton. Le calcul intégral nouvellement étendu d'une telle manière, était appliqué aux questions les plus ardues que Newton n'avait pas résolues ou n'avait fait qu'esquisser. Les conclusions que l'on en tirait se trouvaient en harmonie parfaite avec l'observation. Les plus grands mathématiciens de l'Europe avaient exercé leurs talents au perfectionnement des parties les plus délicates de la théorie. Les calculs récents de Lagrange et de

Laplace mirent au jour divers résultats aussi importants qu'inattendus. Toutes les anomalies des cieux furent démontrés périodiques. Depuis cet instant, l'astronomie pratique a acquis une précision remarquable, et les perfectionnements de la théorie lunaire ont étonnamment hâté les progrès de la navigation. Les différentes observations d'Herschel et les dernières découvertes de Piazzi, Olbers et Harding, ont concouru à enrichir nos idées sur le système planétaire.

La correction d'une erreur commise par Newton dans ses recherches d'optique, conduisit Dollond, vers l'an 1758, à l'importante découverte des verres achromatiques. La fabrication de ces précieux instruments a contribué essentiellement à la perfection de l'art d'observer. Mais l'optique, ce sujet si beau et si fertile pour les recherches, a jeté encore un autre rameau. Malus découvrit, il y a peu d'années, une propriété singulière de la lumière à laquelle il a donné le nom de polarisation. Cet homme ingénieux, ravi au milieu de la carrière de sa découverte, en a laissé le champ à parcourir au zèle et à la persévérance des autres investigateurs.

Dans l'accroissement récent de la physique, aucune branche n'a fait des progrès plus satisfaisants que l'importante théorie de la chaleur. Ce sujet, quoique si compliqué et en apparence si difficile à pénétrer, a cédé néanmoins à la puissance de l'analyse expérimentale. La théorie de la chaleur a procuré déjà des bienfaits durables aux arts et aux manufactures; mais en outre elle a servi à tracer le caractère des climats et à rendre raison des phénomènes atmosphériques qui nous sont fournis par les scènes passagères et diverses de la météorologie.

Gilbert avait fait le premier catalogue de l'électricité, et Guericke, cinquante ans après, construisit la première machine électrique. Mais quoique Gray eût découvert en 1730 la propriété des substances cou-

ductrices, l'électricité cependant ne put prétendre au rang de science que vers 1745, temps vers lequel fut trouvée la bouteille de Leyde. Depuis cette époque, ce sujet a été cultivé avec beaucoup d'ardeur et de succès; une multitude de faits brillants furent observés et donnèrent enfin une explication du tonnerre et des éclairs.

Un accident arrivé à Galvani, en 1791, a conduit à la création d'une nouvelle branche, qui est la plus intéressante de l'électricité. Mais la découverte faite, huit ans, après par l'ingénieur et bon Volta, de cette combinaison alternative de deux plaques de métaux différents appelés *pile*, peut être regardée comme une époque marquante dans l'histoire de la science. La chimie fut gratifiée alors du plus puissant instrument encore connu, pour l'examen de la composition des corps. Dans les mains habiles de MM. Davy, Berzélius et autres, la pile voltaïque a offert les plus étonnants résultats.

Le magnétisme a aussi, dans ce petit nombre d'années, fait de grands progrès. Les différentes circonstances qui agissent sur la déclinaison et l'inclinaison de l'aiguille, furent enfin établies avec quelque degré de précision. On en tira des lois expérimentales qui semblent indiquer les changements de l'influence magnétique qui se répandent sur les différentes parties de la terre; mais le principe qui enchaînerait tous les faits reste toujours inconnu.

L'analogie entre l'électricité et le magnétisme est soupçonnée depuis long-temps; mais les expériences d'Oersted l'ont mise hors de doute. L'action galvanique, combinée de diverses manières avec la force magnétique, produit sans cesse les faits les plus curieux et les plus surprenants. Une explication concluante n'a pas encore été donnée; cependant chaque chose semble indiquer l'approche de quelque

grande découverte, et les nouvelles expériences de M. Ampère ajoutent encore de grandes probabilités à cette identité de fluides.

Nous ne pousserons pas plus avant l'examen rapide que nous voulions faire du tableau de la science; nous n'examinerons pas ici les belles découvertes de MM. Arago, Gay-Lussac, Dulong, etc., etc., dont il sera question dans le cours de cet ouvrage.

Malgré ces découvertes brillantes et nombreuses, il est des hommes qui pensent que le vol des sciences est moins élevé et se dirige vers les plaines infinies de l'hypothèse. Bannissons loin de nous ces idées affligeantes de ceux qui nous disent : « Qui sait si dans quelques siècles cette même Europe, où le règne des lettres et des arts est aujourd'hui transporté, qui brille d'un si grand éclat, qui juge si bien les temps passés, qui compare si bien le règne successif des sciences, des littératures et des mœurs antiques, ne sera pas déserte et sauvage comme les collines de la Mauritanie, les sables de l'Égypte et les vallées de l'Anatolie ? Qui sait si dans un pays entièrement neuf, peut-être dans les hautes contrées d'où découle l'Orénoque et le fleuve des Amazones, peut-être dans cette enceinte, jusqu'à ce jour impénétrable, des montagnes de la Nouvelle Hollande, il ne se formera pas des peuples avec d'autres mœurs, d'autres langues, d'autres pensées, d'autres religions ; des peuples qui renouvelleront encore une fois l'espèce humaine, et qui, voyant avec étonnement que nous avons existé, que nous avons su ce qu'ils sauront, que nous avons cru comme eux à la durée et à la gloire, plaindront nos impuissants efforts, et rappelleront les noms des Newton, des Racine, des Tasse, des Cuvier, comme exemple de cette vaine lutte de l'homme pour atteindre une immortalité de renommée que la destinée lui refuse. »

PROLÉGOMÈNES,

OU

NOTIONS GÉNÉRALES PRÉLIMINAIRES

SUR LE BUT ET L'OBJET

DE LA PHYSIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

DÉFINITION DE LA PHYSIQUE.

La physique, qui, pendant des siècles entiers, s'était trouvée comprise comme partie essentielle dans l'ensemble des études philosophiques, et qui, en même temps, conformément à la lettre de son étymologie (1), embrassait le cercle immense et sans cesse agrandi des sciences naturelles, devenue enfin trop riche, trop vaste et trop peu homogène pour ne faire qu'une science, a été séparée, et de la philosophie à la suite de laquelle elle prit naissance, et des sciences naturelles auxquelles elle a préexisté, et qui ne furent originairement que ses développements.

Il est inutile sans doute d'énumérer longuement les différences qui séparent la philosophie des *scien-*

(1) *Physique*, en grec, φυσικη (sous-entendu τεχνη, art, science), dérive de φύσις, nature, et signifie science de la nature.

cés physiques en général et de la *physique* en particulier. La première ne décrit que les phénomènes et les lois de l'âme humaine ; et si parfois , elle s'élanche hors de cette sphère psychologique, elle porte son investigation sur les êtres incorporels que nous fait admettre l'intelligence ; les secondes , au contraire, ne s'attachent qu'aux phénomènes et aux lois de la matérialité ; et si elles paraissent un moment abandonner l'examen des corps mêmes, c'est qu'elles s'occupent des propriétés générales qui les régissent. En logique , en morale , comme en ontologie et en métaphysique , l'attention se concentre sur ce que les sens ne peuvent atteindre : ce qui frappe les sens ou par soi-même ou par ses résultats , captive l'œil du physicien et du naturaliste. Le monde interne , le *moi*, voilà le domaine de la philosophie ; le monde externe , le *non moi*, voilà l'empire de la physique : où l'une commence , l'autre expire et s'évanouit. Entre elles paraît la physiologie qui les rapproche , les réconcilie , et en quelque sorte les ente l'une sur l'autre ; mais il y a loin de ces rapprochements à la fusion des deux sciences l'une dans l'autre : et des analogies , quelque multipliées et quelque frappantes qu'elles soient , n'entraînent point identité.

Mais s'il est facile de distinguer la physique de la philosophie , il est difficile de ne pas la confondre avec quelques-unes de ces sciences qui , comme elle , observent et décrivent la nature.

Cependant on peut déjà , à l'aide d'un léger examen , la séparer des trois branches de l'histoire naturelle. En effet , la minéralogie , la botanique , la zoologie , n'étudiant que les formes , les parties et les caractères plus ou moins particuliers des êtres qui vivent , végètent ou existent à la surface ou dans l'intérieur de la terre , ne décrivent , n'énumèrent

et ne réunissent en classes que des individualités; et quoique à l'aide de classifications savantes et de comparaisons laborieuses, chacune de ces sciences arrive à quelques notions que l'on est tenté d'abord d'appeler générales, on sent bientôt que ces notions générales, si on songe aux spécialités à la suite desquelles nous les avons entrevues, ne sont elles-mêmes que des spécialités, et d'un ordre bien inférieur, comparativement à ces lois universelles qui gouvernant la masse des êtres, président à toutes les métamorphoses de l'univers.

On peut de même apercevoir sans peine quelles différences existent entre la physique, d'une part, l'astronomie et la géognosie ou géologie, de l'autre. La géologie traite de la configuration externe de la terre, suit les sinuosités et les découpures de ses rivages, décrit les inclinaisons du sol, trace la direction des montagnes, les anfractuosités des vallées et le cours des rivières; quelquefois elle fouille dans le sein de la terre, détermine la position respective des couches minérales les unes à l'égard des autres et leur ancienneté, et cherche à fixer, par des conjectures plus ou moins probables, quelles modifications a éprouvées et éprouve encore actuellement le globe terrestre par l'action des eaux, des volcans, etc. L'astronomie cherche dans les espaces célestes les objets de ses spéculations; elle suit, à l'aide du télescope, les révolutions apparentes ou réelles des astres, et en aperçoit la régularité; elle prouve l'immobilité des uns, la mobilité des autres, pose les lois immuables qui les font mouvoir éternellement dans le vide, détermine les courbes qu'ils décrivent, et prophétise jusqu'au retour de ces comètes qui semblaient échapper à toutes les lois, et dont les apparitions irrégulières jetaient l'épouvante dans l'ame des rois comme des peuples. Quelque

hautes que soient ces spéculations , et quelque immenses que semblent leurs résultats , on n'y observe point encore de généralité absolue ; ce sont des lois vastes , mais particulières à une classe de corps , et elles ne seront qu'une partie de la physique qui aspire à quelque chose d'universel.

Une seule science naturelle nous reste maintenant à examiner , c'est la chimie. Aucune n'a de plus nombreux et de plus intimes rapports avec la physique ; elles se rencontrent et se mêlent perpétuellement , et même on peut dire qu'il est impossible d'acquérir une connaissance exacte et profonde de l'une si l'on reste totalement étranger à l'autre. Cependant les savants modernes les ont distinguées, et la distinction difficile à saisir ne laisse pas d'être réelle.

Dans cette foule presque innombrable de corps que présente la nature, les uns, composés de molécules similaires, homogènes, sont ce qu'on appelle simples ou élémentaires ; les autres, formés de parties simples, mais hétérogènes, se nomment proprement composés. Reconnaître, par l'analyse, quels éléments entrent dans la formation d'un corps composé, déterminer par la synthèse quels corps composés, résultent de telle ou telle combinaison, décrire, soit les propriétés particulières de chaque élément et de chaque agrégation d'éléments, soit les actions réciproques exercées par les éléments sur les éléments, par les corps composés sur les corps composés, enfin par ceux-ci sur ceux-là, et sur-tout fixer clairement les proportions selon lesquelles les molécules élémentaires se combinent avec d'autres molécules élémentaires pour former un corps nouveau, voilà l'objet de la chimie.

La physique, au contraire, néglige complètement l'examen de la composition et de la décomposition

des corps, et par conséquent les lois individuelles qui président à ces deux classes de phénomènes, lois que le chimiste conclut des observations faites dans son laboratoire sur les corps qu'il analyse ou qu'il recompose. Au-dessus de ces lois, il en est d'autres plus générales et moins nombreuses qui existent et président à toutes les métamorphoses de la matière, contiennent et expliquent d'avance toutes les lois individuelles qui frappent nos yeux les premières. Atteindre ces lois générales est le but de la physique.

Ces lois constantes et universelles, comme tout ce qui est général, ne se manifestent à nous que par des actions uniformes, semblables, identiques. A la suite d'actions de ce genre se répétant dans les mêmes circonstances et sur les mêmes objets, on conclut des propriétés, c'est-à-dire la possibilité de produire ou d'éprouver des actions.

On peut donc définir la physique,

La science qui fait connaître les propriétés véritablement générales des corps, décrit les actions mécaniques qu'ils exercent les uns sur les autres, et tire les lois en vertu desquelles ces propriétés exercent ces actions.

On doit voir maintenant, sans même qu'il soit besoin de le dire, que, de toutes les sciences naturelles, la physique est la plus haute, la plus vaste et la plus sévère, puisque les propriétés générales qui lui servent de base, les phénomènes généraux qu'elle s'attache à décrire, les lois générales qu'elle en fait dériver, dominent une foule de propriétés, de phénomènes, de lois individuelles que constatent les autres sciences physiques. Les trois branches si fécondes et si variées de l'histoire naturelle ne fournissent que des matériaux à la chimie qui, par la connaissance des éléments et de leurs combi-

naisons, pénètre quelques-unes des causes qui ont présidé à la conformation de quelques-uns des corps : de sorte que ces sciences, naguère descriptives, deviennent une science explicative : mais la physique élargit encore plus ; elle universalise les lois à demi-générales de la chimie. Si elle ne rend pas compte encore de toutes ces lois, il faut s'en prendre, non pas à la science elle-même, dont tel est le but et la nature, mais à notre faiblesse, appanage inséparable de l'humanité. La physique est donc, au milieu des autres sciences qui se proposent l'investigation des phénomènes ou des lois de la nature, la science transcendente, la science par excellence, la science ; et voilà pourquoi, tandis que les sciences physiques, en se divisant, ont pris chacune un nom particulier analogue à la branche d'objets qu'elles considèrent, le nom de *physique* est resté à celle qui pose les lois véritablement générales de la matière.

CHAPITRE II.

DE LA MATIÈRE ET DE SES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES.

Nous ne chercherons pas à discuter ou à réfuter les opinions émises par les philosophes anciens ou modernes ; nous abandonnerons aux Spinoza et aux Malebranche, aux Clarck et aux Leibnitz, les discussions sur l'existence et l'essence de la *matière*.

Dans l'étude expérimentale que nous nous pro-

posons de faire sur les différentes propriétés des corps, nous donnerons le nom général de matière à tout ce qui peut affecter un ou plusieurs de nos sens.

On peut diviser ces propriétés en deux classes : la première renferme les propriétés particulières qui n'appartiennent pas à tous les corps, ou qui varient d'un corps à un autre, comme *la couleur, l'odeur, la forme* ; la seconde comprend les propriétés générales : *l'étendue, l'impenétrabilité, la porosité, la divisibilité, la compressibilité, l'élasticité, la mobilité, l'inertie et la pesanteur.*

De l'étendue. — L'étendue, en général, est la place occupée dans l'espace ; et les géomètres désignent par ce mot les trois dimensions des corps, prises ensemble ou séparément. On peut donc distinguer trois sortes d'étendue : 1° l'étendue en longueur, ce qui donne la ligne, abstraction faite de la largeur et de la profondeur ou hauteur ; 2° l'étendue en longueur et largeur seulement, ce qui forme la surface ou superficie ; 3° enfin, l'étendue en longueur, largeur et profondeur, qu'on appelle indifféremment corps, volume ou solide.

Mesure de l'étendue. — Mesurer signifie généralement comparer deux choses entre elles, pour en connaître le rapport. On ne peut donc comparer que des choses de même nature, les lignes avec les lignes, les surfaces avec les surfaces, etc. Pour mesurer de cette manière deux lignes A et B (fig. 1^{re}), on porte la plus courte sur l'autre, pour voir combien de fois elle y est contenue ; et si l'on trouve quatre ou cinq fois, on dit que la ligne A est quatre ou cinq fois aussi longue que la ligne B.

Si, dans cette opération, il y a un reste sur la ligne A, on le porte sur la ligne B, et l'on compte combien de fois il peut y être compris. On continue de la même manière, jusqu'à ce que le dernier reste,

divisant exactement le précédent, servé de commune mesure aux deux lignes.

On trouve facilement le rapport de deux lignes , quoique l'une ne soit pas exactement contenue dans l'autre. Supposons, par exemple (fig. 1), que B soit renfermé en A quatre fois, plus un reste CD, que l'on trouvera contenu en B deux fois, plus EF, qui, enfin, mesurera exactement trois fois CD.

On verra que B renfermant deux fois $CD + EF = 7 EF$, et que A renfermant 4 B + CD = 31 EF.

Ce procédé, beaucoup trop long pour connaître le rapport des lignes, ne donnerait que des mesures relatives; on a donc adopté une longueur à laquelle on a comparé les autres. On lui donne le nom d'*unité*, et on la subdivise en un nombre plus ou moins grand de parties, pour exprimer le rapport des longueurs moindres que cette unité.

On parviendrait facilement à mesurer toutes les longueurs, en connaissant l'unité principale dont nous venons de parler; mais cette mesure est non-seulement différente chez les divers peuples; mais encore dans le même pays. On ne saurait donc trop applaudir à l'adoption du nouveau système métrique qui, puisé dans la nature du globe, ne peut tarder, nous l'affirmons avec confiance, à être adopté par toutes les nations.

Les mesures de toute espèce dérivant du *mètre*, nous croyons devoir nous en occuper un instant. Le mètre est la dix millionième partie du quart du méridien terrestre; il se divise en dix parties égales nommées décimètres; chaque décimètre se divise de la même manière en dix centimètres, et chaque centimètre en dix millimètres.

L'unité des mesures superficielles du terrain est un carré, dont le côté est de dix mètres. On le nomme *are* ou *perche carrée*.

Le mètre cube est employé, sous le nom de *stère*, à mesurer le bois de chauffage.

Le cube de la dixième partie du mètre est l'unité des mesures de capacité; on lui a donné le nom de *litre*.

Le poids de la millième partie d'un mètre cube d'eau distillée, ou le cube d'un décimètre, donne l'unité de poids, sous le nom de *kilogramme* ou livre décimale.

Enfin, rien n'était plus important que de diviser en parties décimales la monnaie, à laquelle on compare journellement toutes les mesures. L'unité monétaire a reçu le nom de *franc*: on nomme *décime* la dixième partie du franc (deux sous), et *centime* sa centième partie.

Nous devons à un géomètre français, nommé *Vernier*, un procédé au moyen duquel une échelle de parties égales peut être subdivisée en parties aussi petites qu'on le désire, sans avoir besoin de faire un nouveau tracé. Il suffit pour cela d'appliquer contre l'échelle que l'on veut diviser, une autre échelle dont les parties aient avec la première un rapport connu. Si, par exemple, la règle AB est divisée en 12 parties égales, et qu'on veuille s'en servir pour mesurer une longueur moindre, CD, on voit facilement par la superposition, que cette ligne contient, par exemple, 8 divisions entières de la règle, plus une fraction ED, dont la grandeur absolue et le rapport à une division entière sont inconnus. Pour déterminer l'une et l'autre, on construit une autre règle FG, divisée aussi en parties égales, mais plus petites que les premières, et dans une proportion connue, de manière qu'un nombre quelconque de divisions de la grande règle en renferme un nombre exact de la petite (fig. 2), que l'on nomme *vernier*. Si la grande règle est divisée

en neuf parties, et le vernier en dix, le premier et le dernier trait coïncideront, mais entre ces deux extrêmes la coïncidence n'aura pas lieu, et les divisions du vernier étant plus petites d'un dixième, chacune d'elles sera en arrière des traits de l'autre règle, de cette quantité qui est la différence de grandeur; ainsi la deuxième division sera en arrière de $\frac{1}{10}$; la troisième de $\frac{2}{10}$; la quatrième de $\frac{3}{10}$, jusqu'à la onzième et dernière, qui doit se rapporter avec le dixième trait de la grande règle. A l'inspection d'un instrument muni d'un vernier, on verra, sans nulle difficulté, la manière de s'en servir en le faisant avancer ou reculer.

Impénétrabilité. — On nomme impénétrabilité cette propriété qu'ont les corps de ne pouvoir s'identifier ou occuper en même temps le même espace qu'un autre corps. Cette propriété est évidente pour les corps solides, et si quelquefois il y a pénétration apparente, elle ne provient que de ce que les particules intégrantes ne sont pas immédiatement appliquées les unes sur les autres, ou sont assez mobiles les unes autour des autres pour permettre d'introduire entre elles des corps étrangers. La pointe d'acier ne pénètre donc pas le bois où on l'enfonce, elle ne fait qu'en écarter les parties; et l'on parvient même à les séparer entièrement, en substituant à cette pointe un corps dont les dimensions soient assez considérables, comme un coin.

L'éponge et la craie, qui, sans augmenter de volume, absorbent l'eau dans laquelle on les plonge, offrent des faits non moins faciles à expliquer: les cavités de l'éponge et celles de la craie, qui, bien que plus petites, sont encore très appréciables au microscope, servent de réservoir au liquide. Ces cavités ont reçu le nom de pores. (*Voy. l'art. Porosité.*)

Quand on plonge la main dans un liquide quelconque, on éprouve une résistance si faible, qu'on pourrait douter de son impénétrabilité; mais cette propriété sera bientôt démontrée, si l'on considère que le volume du liquide augmente de tout celui du corps qu'on y plonge; pourvu que les pores de ce dernier soient assez petits pour ne point admettre de liquide dans leur intérieur. Cette expérience est très sensible quand on emploie un vase à col étroit, et qu'on y plonge un cylindre à peu près de même diamètre (fig. 3).

On juge encore de l'impénétrabilité des liquides en les frappant avec vitesse du plat de la main: on éprouve alors une résistance presque aussi grande que quand on frappe un corps solide.

L'expérience suivante est fondée sur l'impénétrabilité: elle consiste à prendre une bouteille de verre que l'on remplit d'eau de manière à ne laisser qu'autant de vide qu'il en faut pour faire place au bouchon. On introduit autant que possible celui-ci jusqu'à la surface du liquide, et alors on le ficelle solidement. Si, après ces préparatifs, on enfonce un fil de fer, à travers le bouchon, dans le liquide, on verra le vase se briser, parce que le fer n'a pu s'y introduire qu'à la faveur du déplacement des molécules qui, fortement contenues par les parois de ce vase, l'obligent enfin à céder à un effort quelquefois assez léger pour la main de l'opérateur.

La chimie nous présente un grand nombre de combinaisons dont les éléments séparés occupaient plus de place que le corps qui en résulte: tels sont les alliages, or et argent, or et fer, or et plomb, or et cuivre, argent et cuivre, cuivre et plomb, fer et plomb, étain et plomb, etc. Le mélange qui résulte de parties égales d'eau et d'alcool concentré, a la même propriété.

Tous ces faits semblent révoquer en doute l'im-pénétrabilité qui, en effet, ne pourrait point être admise, s'il n'était prouvé que les particules d'un corps laissent entre elles des vides plus ou moins grands, qui, absorbant une des parties mélangées, en diminuent sensiblement le volume.

Impénétrabilité des corps gazeux. — L'invisibilité des corps gazeux et leur faible résistance quand on les comprime, ne suffisent pas pour refuser d'admettre leur impénétrabilité : qu'on ôte à l'air atmosphérique la possibilité de s'échapper, et qu'on lui présente un corps qui tende à prendre sa place, il montrera bientôt sa résistance et son impénétrabilité. Tout le monde peut s'en convaincre au moyen d'une cloche de verre qu'on plonge dans l'eau après l'avoir retournée : le liquide, trouvant de la résistance à mesure qu'on enfonce la cloche, comprime l'air sans parvenir à le remplacer, de sorte qu'à l'intérieur le niveau de ce liquide est d'autant plus bas que le vase est plus enfoncé. On peut placer sous cette cloche une bougie allumée qui brûlera jusqu'au fond de l'eau ; mais il faut avant tout la fixer sur un morceau de liège pour lui permettre de flotter sur le liquide.

Cette expérience a donné l'idée de la cloche à plongeurs. Elle est employée pour la pêche des perles, et pour les constructions submergées ; et l'on s'en sert avec avantage pour retirer du fond de la mer les corps qui y sont plongés. Cette cloche, autrefois en métal, a reçu de l'expérience divers perfectionnements. Nous allons donner une idée de sa construction, qui varie cependant suivant les pays où elle est en usage.

On lui donne ordinairement la forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire de plusieurs mètres ; elle contient à sa partie supérieure des verres lenti-

culaires incrustés avec soin, qui distribuent la lumière à l'intérieur. Cette cloche, construite le plus souvent en bois, est chargée par le bas de lames de plomb ou de poids suffisants pour la faire descendre. Son intérieur est garni de bancs où sont placés les plongeurs pendant le trajet. Enfin on y adapte une machine qui, refoulant l'air du dehors, remplace dans la cloche celui qui est vicié par la respiration.

On n'a pas vu sans un vif intérêt une cloche de cette espèce employée en France à la construction du superbe pont de Bordeaux.

Après avoir prouvé, en général, l'impénétrabilité des fluides aériformes, nous ferons observer que si l'eau qu'on jette par une fenêtre se divise en gouttes, c'est un effet de la résistance du fluide qui nous entoure. La pluie et la neige nous frapperaient avec force si l'air n'y mettait un obstacle; c'est ce qu'on prouve au moyen d'un tube de verre purgé d'air, qui renferme une petite quantité d'eau. En renversant successivement cet appareil, nommé *marteau d'eau*, on entend un choc assez fort produit contre les parois par le liquide.

Porosité. — Les exemples de pénétration apparente que nous avons cités dans l'article précédent, prouvent que la solidité des corps ne répond point à leur volume, et qu'il se trouve entre les particules solides qui les constituent une quantité plus ou moins considérable d'interstices, vides de la propre substance de ces corps. Ces intervalles sont connus en physique sous le nom de *pores*.

Comme il n'existe point de corps composés de parties assez rapprochées les unes des autres pour ne laisser entre elles aucun espace vide de leur propre substance, la *porosité* ou *faculté d'avoir des pores* est mise au nombre des propriétés générales; mais

elle n'appartient pas à tous les corps au même degré : les uns ont plus de *porosité* que les autres.

L'œil peut aisément apercevoir dans les éponges et dans certains bois les vides dont nous avons parlé. Remarquons cependant que par le mot *vides* nous ne prétendons pas désigner des espaces privés de toute matière : il est, au contraire, indubitable que la plus grande partie de ces interstices loge des fluides dont la présence est quelquefois manifeste. Plongez, par exemple, dans l'eau une éponge ou un morceau de sucre, et vous verrez arriver à la surface du liquide les petites bulles d'air contenues dans les intervalles que laissent entre eux les particules de ces corps.

Les pores les plus ouverts ne prouvent pas toujours la plus grande porosité : le nombre compense et peut quelquefois même surpasser l'effet de la grandeur. Ainsi le chêne, dont les pores sont beaucoup plus grands que ceux du liège, a cependant une porosité moindre que ce dernier, puisqu'à volume égal le liège est moins pesant que le chêne.

Avant d'aller plus loin, nous croyons devoir donner ici la définition de quelques termes dont nous ferons par la suite un fréquent usage : nous voulons parler du volume, de la masse et de la densité des corps.

Le volume d'un corps se mesure par l'espace qu'il occupe ou par l'étendue de ses surfaces. Cette étendue comprend non-seulement celle des parties solides qui le constituent, mais encore celle des espaces vides qui se trouvent entre ces parties.

La masse d'un corps est la somme totale des parties matérielles qui le composent, quelle que soit sa grandeur ou son étendue.

La densité ou solidité d'un corps est la somme des parties matérielles renfermées sous un volume

donné, tel qu'un mètre ou un centimètre cube ; d'où il résulte que la densité est le rapport de la masse au volume. Un corps est donc d'autant plus dense qu'il comprend un plus grand nombre de parties matérielles sous un même volume. Un morceau de liège peut donc avoir plus de masse qu'un morceau d'or, tandis que l'or a nécessairement plus de densité que le liège, qui, sous un volume donné, renferme beaucoup moins de parties matérielles (1).

Nous savons que la porosité appartient à tous les corps, et que l'on peut apprécier par le poids le rapport de porosité qui existe entre deux corps : nous ignorons cependant l'intensité de cette porosité. Pour connaître cette valeur, il nous faudrait une matière toute solide, qui n'eût point de pores, ou du moins dont la porosité absolue nous fût connue : alors le rapport de son poids au poids d'un autre corps à volume égal nous donnerait le rapport de porosité qui existe entre ces deux corps, et par conséquent leur porosité absolue.

De pareilles matières nous sont inconnues ; et s'il faut en croire Newton (2), l'or a plus de pores que de parties solides. Quelle doit donc être la porosité des autres corps, puisqu'elle est en raison inverse de la densité ?

Tout nous porte à croire qu'outre les pores dont nous venons de parler, il existe encore entre les particules élémentaires des corps un autre ordre de

(1) Quelques physiciens admettent que la différence de densité dépend plutôt du seul poids des atomes qui forment les corps, et qu'ainsi le platine est plus dense que le plomb, parce que la molécule en est plus lourde.

(2) Traité d'opt., liv. II, part. 3, prop. 8, pag. 313.

pores beaucoup plus resserrés, et destinés à loger les fluides impondérables.

On se rendra facilement raison de cette propriété en observant que tous les corps possèdent la faculté de se contracter par le refroidissement, faculté dont tout le monde a pu voir un exemple dans le thermomètre, dont le liquide diminue de volume à mesure que le froid devient plus intense. Cette contraction fait voir que les molécules des corps laissent entre elles de petits interstices qui leur ont permis de se rapprocher; et quand même on supposerait le refroidissement porté à l'extrême, il ne s'ensuivrait pas que les molécules dussent franchir entièrement les petits espaces qui les séparent, parce qu'il peut y avoir dans leur forme, dans leur arrangement et autres circonstances, une cause d'écartement qui tiennent à la nature intime des corps. En effet, les parties intégrantes elles-mêmes d'un composé ne sont susceptibles de décomposition que parce qu'il se trouve des vides entre les éléments qui les constituent.

Nous allons maintenant passer aux expériences qui établissent d'une manière incontestable la porosité des corps. Nous parlerons d'abord des corps solides.

Les bois jouissent à un très haut point de cette propriété. Un moyen de la mettre en évidence est de creuser une petite coupe dans le sens de la longueur des fibres végétales, et de l'adapter à l'une des extrémités d'un cylindre de verre dont l'autre extrémité est convenablement préparée pour s'appliquer à la machine pneumatique (1). On met

(1) C'est un appareil au moyen duquel on enlève l'air qui se trouve dans les vases. Nous décrirons cette machine à l'article des pompes.

alors dans la petite coape de bois une couche de mercure, et l'on fait le vide; aussitôt le mercure traverse le bois, et tombe sous la forme de pluie fine. Pour que le mercure ne gâte point la machine pneumatique, on met ordinairement dans l'appareil un tube dont le bout est recourbé, et par lequel on opère le vide dans le grand cylindre.

Une autre expérience plus facile encore à répéter se fait avec une canne de jonc. On plonge dans l'eau une de ses extrémités, et l'on applique sa bouche à l'autre pour en retirer, au moyen de la succion, l'air qui se trouve dans les pores. Cet air est bientôt remplacé par l'eau qui arrive à la bouche, après des efforts plus ou moins considérables.

La fumée passe aussi très facilement au travers des pores du jonc, et les Orientaux l'emploient souvent comme tuyau de pipe. Les fontaines filtrantes sont encore une preuve de la porosité de la pierre, puisque l'eau ne peut arriver dans la cavité communiquant au robinet qu'après en avoir traversé une épaisseur de plusieurs millimètres.

Les métaux sont aussi très poreux. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à remplir entièrement d'eau une boule de métal assez mince pour être flexible, et bouchée de façon à ne pouvoir rien perdre par l'orifice. Soumise à une presse, la boule s'aplatit d'abord un peu, puis l'eau se faisant jour à travers les pores, apparaît à la surface en petites gouttes semblables à celles de la rosée.

La fonte (1) est la substance métallique la plus

(1) La fonte est une combinaison du fer avec plusieurs autres substances, telles que le carbone, le silicium, etc.

poreuse. On avait construit à Paris une presse hydraulique dont le piston devait se mouvoir dans un cylindre de fonte. Lorsqu'on essaya la machine, on vit de tous côtés l'eau s'échapper à travers les pores du cylindre, et l'on fut obligé, pour obvier à cet immense inconvénient, de le doubler en cuivre, ce qu'on fait toujours maintenant, le cuivre étant assez compacte pour retenir l'eau, quelque pression qu'on lui fasse éprouver.

La porosité peut se démontrer facilement sur un grand nombre de pierres. Nous en citerons une dont Newton a parlé, et qui donne lieu à un phénomène particulier de lumière (1).

Cette pierre est du genre des *agates* qui sont demi-transparentes et assez dures pour étinceler avec le briquet : elle se nomme *hydrophane* (transparente par l'eau). Lorsqu'on la plonge dans l'eau, on voit l'air qui en occupait les pores s'échapper à mesure qu'il est remplacé par le liquide, et s'élever en files nombreuses de petites bulles. La pierre qui avait d'abord un aspect laiteux, acquiert un nouveau degré de transparence et augmente de poids, ce qui est très sensible, si l'on a soin de la peser avant et après l'expérience.

L'augmentation de la transparence tient à un effet de lumière que nous expliquerons plus tard ; mais l'addition de poids est due à l'eau qui s'est introduite dans les pores. Cette expérience, où l'on voit le dégagement de l'air, prouve en même temps qu'il ne faut pas considérer les pores comme absolument vides de toute matière étrangère, mais plutôt comme occupés par l'air ou par quelque autre

(1) Newton, *Optice lucis*, lib. II, pars tertia, prop. tertia,

fluide subtil disséminé entre les molécules des corps, comme nous l'avons déjà dit.

Haüy a trouvé qu'une hydrophane du poids d'environ 18 décigrammes dans son état ordinaire, pesait environ 21 décigrammes, après avoir été soumise à cette expérience. Son poids était donc augmenté d'un sixième (1).

Il est à remarquer qu'en séchant, l'hydrophane perd l'eau dont elle s'était imbibée, et reprend son opacité naturelle; mais l'expérience peut se recommencer à volonté.

On met quelquefois à profit, pour embellir les pierres, la faculté qu'elles possèdent de s'imbibler: Kircher et plusieurs autres s'en sont servi pour y dessiner des fleurs et d'autres ornements (2).

Dufay porta beaucoup plus loin l'art de colorer les pierres (3): il se servait des dissolutions métalliques et d'alcool comme dissolvant, quand il employait les couleurs végétales. Ces teintes pénétraient si profondément, qu'elles résistaient au poli que l'on donnait ensuite aux pierres.

On réussit assez facilement, au moyen de la même propriété, à former des ramifications sur des morceaux d'agate, et souvent on imite ainsi les dendrites naturelles, au point de faire une illusion complète.

Nous remarquerons à ce sujet que tous les corps solides ne s'imbibent pas indifféremment de tous les liquides; les bois, par exemple, absorbent plus aisément l'eau que l'huile: le marbre, au contraire,

(1) Haüy, *Traité élém. de phys.*, p. 5, 3^e éd.

(2) *Transact. philos.*, 1701.—*Journal des Savants*, 1678.

(3) Dufay, *Mém. de l'Acad. roy. des sciences*, 1728.

n'est pas sensiblement affecté par l'eau, tandis que l'huile et les corps gras le pénètrent profondément.

Nous allons citer quelques exemples de porosité puisés dans le règne animal.

Prenez un morceau de peau dépouillée de son épiderme, et formez-en une espèce de nouet dans lequel vous renfermerez cent ou deux cents grammes de mercure; après l'avoir fortement lié, pressez-le entre les doigts au-dessus d'un bassin, et vous verrez le métal sortir sous la forme d'une pluie excessivement fine.

Nous disons qu'il faut dépouiller la peau de son épiderme, parce que cette partie, beaucoup moins poreuse que le tissu qu'elle recouvre, empêcherait le mercure de passer. Aussi a-t-on soin de conserver l'épiderme aux sacs que l'on fait avec des peaux de mouton pour le transport du mercure.

On peut aussi remplacer par un morceau de peau la coupe de bois dont nous avons parlé page 51, et le mercure produira le même effet.

Cette expérience réussissant aussi bien avec la peau humaine qu'avec toute autre, elle prouve manifestement que la peau de tous les animaux se trouve remplie d'un nombre considérable de pores ou d'ouvertures dont la ténuité prodigieuse est attestée par la multitude de petits globules de mercure qui se font jour en même temps à travers le peu d'étendue de la peau qui leur livre passage, et par la finesse extraordinaire de ceux qui se trouvent isolés dans quelques parties du bassin.

C'est par ces ouvertures que s'échappe continuellement la matière de la transpiration insensible ou cutanée.

La peau de l'homme et des animaux est criblée d'une infinité de pores par lesquels s'échappent, au

moyen de la transpiration, les parties des aliments qui ne contribuent pas à la nutrition.

Indépendamment de la transpiration sensible, que l'on nomme *sueur*, et qui est accidentelle, il s'en fait une insensible, qui agit plus ou moins à tous les instants, et qu'avant les expériences de Sanctorius on n'avait pas lieu de croire aussi abondante. Ce savant célèbre a eu la constance de passer une partie de sa vie dans une balance où il se pesait continuellement pour déterminer les pertes occasionées par les effets de la transpiration.

Il a trouvé qu'en vingt-quatre heures nous perdions de cette manière environ les $\frac{2}{8}$ de la nourriture que nous avons prise. Dodard, en reprenant depuis ces mêmes expériences, s'est assuré qu'on transpirait beaucoup plus dans la jeunesse. Ces physiciens avaient négligé de distinguer la transpiration qui se fait par les poumons de celle qui se fait par l'intermédiaire de la peau. Séguin et Lavoisier voulurent en déterminer la différence. Ils cherchèrent donc le résultat de la transpiration totale, et supprimèrent celle qui se fait par la peau, en appliquant sur cet organe une enveloppe imperméable à l'humidité : ils obtinrent ainsi la quantité de la transpiration pulmonaire; et la moyenne, entre les résultats de leurs expériences, donne $\frac{7}{11}$ pour le rapport entre cette quantité et celle de la transpiration cutanée, c'est-à-dire que l'effet qui provient de la transpiration pulmonaire surpasse le tiers de l'effet total.

Pour se former une idée de l'abondance de cette évacuation par les pores, il ne faut qu'évaluer, autant que possible, le nombre de ces ouvertures répandues sur une certaine étendue de la peau. Le-

wenhoek (1), en examinant, à l'aide d'un excellent microscope, un morceau de peau humaine de la longueur d'une ligne, découvrit et fit voir très distinctement cent vingt petites ouvertures dans cet espace. En réduisant ce nombre à cent, et en rapportant la mesure anglaise dont il s'est servi, à la nôtre, il doit donc s'en trouver plus de mille pour un pouce, et conséquemment plus de douze mille par pied. En multipliant ce nombre par lui-même, on a pour produit le nombre de pores contenus sur une surface d'un pied carré, c'est-à-dire cent quarante-quatre millions.

Or, on évalue ordinairement à quatorze pieds carrés l'étendue de toute la peau dans un homme de moyenne taille; il doit donc y avoir quatorze fois cent quarante-quatre millions de pores ou deux billions et seize millions :

2,016,000,000.

Nous citerons sur la porosité des substances animales une expérience qui conduit à une application utile. Elle consiste à prendre un œuf qui ne soit pas frais, à le mettre dans un verre d'eau sous le récipient d'une machine pneumatique, et à faire le vide. A chaque coup de piston, on voit un nombre prodigieux de petites bulles d'air qui s'échappent de l'intérieur de l'œuf; elles sortent par les pores répandus sur sa surface, et elles s'élancent sous le récipient à travers la masse de l'eau.

Dans les endroits où ces pores sont plus ouverts, les bulles se succèdent si rapidement les unes aux autres, qu'elles forment comme autant de séries sans interruption.

(1) Lewenhoek, *Arc. nat.*, t. III, p. 413.

C'est une preuve convaincante de la porosité de la coquille, qui, livrant continuellement passage à la partie laiteuse, laisse introduire à sa place l'air extérieur.

Cette permutation se fait au détriment de l'œuf et concourt à hâter sa putréfaction.

Un moyen assez simple de parer à cet inconvénient et de conserver long-temps les œufs frais, c'est de boucher les pores en étendant sur la coquille une couche de vernis. Réaumur ne se servait, pour cet usage, que de gomme arabique qu'il faisait dissoudre dans l'eau-de-vie (1). Il plongeait ensuite dans cette espèce de vernis les œufs qu'il avait intention de conserver, et qui demeuraient alors pendant plusieurs années dans l'état où il les avait mis. On peut également les plonger pendant quelque temps dans de l'eau chargée de chaux, et les laisser sécher pour les garder. On en a trouvé que le hasard avait conservés de la sorte et qui comptaient un très grand nombre d'années (2).

La porosité de certains corps solides présente des phénomènes trop curieux pour les passer sous silence : nous voulons parler de l'absorption des gaz. Cette propriété, aperçue d'abord par Fontana et constatée ensuite par Morozzo, Rouppe et Noorden (3), pour le charbon, fut ensuite étudiée avec soin par M. Théodore de Saussuré. Ce dernier physicien a étendu ses recherches à plusieurs autres corps, dans lesquels il a rencontré les mêmes propriétés.

(1) Réaumur, Art de faire éclore, etc.

(2) Annales de chimie et de physique, tom. XIX, p. 110.

(3) Journal de physique, tom. XXIII et LVIII; Annales chimie, tom. XXXII.

Voici les résultats généraux de son beau travail. Tous les corps poreux absorbent une plus ou moins grande quantité de gaz, quelle qu'en soit la nature, et cette absorption dépend :

1° *De la température* : car l'absorption est presque nulle à une température élevée, et augmente à mesure que la température s'abaisse ;

2° *De la pression* : en effet, plus le gaz est comprimé autour du corps absorbant, et plus le corps poreux reçoit de parties pondérables de ce gaz ;

3° *De la nature du gaz* : parmi le grand nombre de gaz mis en contact avec les corps poreux, on a trouvé que les uns, tels que les gaz ammoniac, hydrochlorique, sulfureux, sont absorbés en plus grande quantité que l'azote, l'hydrogène, etc. ;

4° *De la nature du corps absorbant*. Le charbon et l'écume de mer absorbent plus d'azote que d'hydrogène, et le bois, au contraire, condense plus d'hydrogène que d'azote ;

5° *Du nombre des pores*. Si, par la pulvérisation, on diminue le nombre des pores, la quantité de gaz absorbée est moins considérable que pour un morceau du même corps non réduit en poussière ;

6° *Du diamètre des pores*. Le charbon de liège, dont la densité n'est qu'un dixième de celle de l'eau, n'absorbe pas sensiblement d'air ; le charbon de sapin, dont la densité est quatre fois aussi grande, en absorbe quatre fois et demie son volume ; celui du buis, dont la pesanteur spécifique est six fois aussi considérable, en condense sept fois et demie son volume ; enfin, la houille de Ratisberg, dont la densité est plus de treize fois aussi grande, en prend dix fois et demie son volume. On pourrait croire, d'après cela, que plus le charbon est dense, plus il absorbe de gaz ; mais cela n'a lieu que jusqu'à un

certain point , car celui que l'on obtient en faisant passer les huiles essentielles à travers un tube incandescent, ne laisse, pour ainsi dire, plus pénétrer les gaz dans ses pores ;

7° *Du vide des pores.* L'on conçoit bien que si les pores étaient déjà occupés par un gaz étranger , l'absorption se ferait moins facilement et serait beaucoup moins considérable. Il faudra donc quand on voudra connaître la quantité réelle d'un gaz absorbé par un corps , soumettre ce corps à différentes expériences en rapport avec sa nature , et les moins capables de l'altérer. Si , par exemple , le corps ne peut pas être décomposé par le feu , on le chauffe fortement ; ensuite on le plonge dans le mercure , pour empêcher qu'en se refroidissant il n'absorbe une nouvelle quantité d'air ou d'humidité. Si la chaleur pouvait le décomposer , on le mettrait sous le récipient de la machine pneumatique. En faisant le vide , on enlèverait l'air et même l'humidité qui étaient contenus dans les pores.

De tous les charbons , celui de bois jouit au plus haut degré de la propriété indiquée ; l'écume de mer vient immédiatement après lui.

Le charbon du buis peut condenser

90	fois son volume de gaz ammoniac ;
85	— acide muriatique ou hydrochlorique ;
9,25	— oxygène ;
7,50	— azote ;
1,75	— hydrogène.

Cette propriété du charbon a reçu des applications précieuses , celle de désinfecter les eaux et de

décolorer beaucoup de substances ; on le réduit en poudre pour ces différents emplois (1).

Porosité des liquides. — Les meilleurs instruments d'optique ne peuvent faire reconnaître la porosité des corps liquides ; les physiciens l'admettent cependant d'après les phénomènes que présentent, dans leurs combinaisons ; ces corps qui, comme on sait, se dilatent et se contractent suivant qu'on les chauffe ou les refroidit.

Prenez une petite phiole dont le col soit long et étroit ; remplissez-la au tiers d'acide sulfurique, et achevez de la remplir avec de l'eau ; ensuite bouchez-la exactement et ayez soin de l'agiter pour que les deux liquides puissent se mélanger. La température du mélange s'élèvera beaucoup, mais lorsqu'elle sera revenue à celle du milieu ambiant, le mélange occupera un espace plus petit que le volume des deux liquides.

L'alcool concentré diminue aussi de volume quand on le mélange avec un poids d'eau égal au sien ; car s'il est très faible, la densité du mélange est inférieure à la densité moyenne des deux liquides.

Les liquides absorbent très facilement certains gaz, comme le gaz ammoniac ; mais quelques autres sont absorbés si rapidement, que l'œil peut à peine suivre la vitesse avec laquelle l'eau monte dans les vases où ils se trouvent quand on la met en contact avec eux. Le gaz acide hydrochlorique est dans ce cas. Pour faire l'expérience, on se procure cet acide gazeux, en faisant réagir l'acide sulfurique sur le sel marin dans une phiole au goulot de laquelle est adapté un tube recourbé. On recueille le gaz sur le

(1) Voy. pour plus de détails le Traité de Chimie de M. Thénard, tom. I, art. *Charbon*.

mercure; on bouche ensuite le flacon à l'émeri, et on le transporte dans un vase plein d'eau, où après avoir plongé le goulot, on retire le bouchon. L'eau a tant d'affinité pour ce gaz, qu'à l'instant même elle se précipite dans le flacon comme s'il était vide. Quand l'eau est saturée de gaz ammoniac, on peut en faire ressortir ce gaz en chauffant, avec une grille circulaire, la cloche où il se trouve: en effet, ce gaz n'ayant pas une très grande affinité pour l'eau, et l'élévation de la température en diminuant encore l'énergie, il arrive bientôt un instant où la tendance à reprendre l'état gazeux est plus grande que l'affinité des deux corps l'un pour l'autre. Il serait impossible de produire le même effet avec l'acide hydrochlorique; on ne peut le retirer de l'eau.

Sous la pression ordinaire de l'atmosphère, l'eau peut dissoudre environ le tiers de son poids de gaz ammoniac, ou, ce qui est la même chose, à peu près 430 fois son volume de ce gaz. La quantité de gaz hydrochlorique absorbée dans les mêmes circonstances, est de 464 fois le volume de ce liquide; et le poids, d'un quart de celui de l'eau.

Porosité des gaz. La porosité des fluides aériques est prouvée d'une manière évidente par la faculté qu'ils ont de pouvoir être resserrés, comme nous le verrons en parlant de la compressibilité, dans un espace beaucoup plus petit que celui qu'ils occupent à l'état naturel.

D'autres phénomènes que nous sommes à même d'observer très souvent, montrent aussi la porosité des gaz: telle est la vaporisation des liquides. Les nuages sont formés par la vaporisation de l'eau qui se trouve à la surface de la terre, et qui, s'élevant sous la forme de vapeurs très légères à travers les pores de l'air, se condense dans des régions plus ou moins élevées de l'atmosphère, et retombe en-

suite sous la forme de pluie , de grêle ou de neige, suivant la température et les autres circonstances concomitantes.

Divisibilité. Les corps sont divisibles , c'est-à-dire qu'ils peuvent être séparés en parties ; mais nous ignorons s'ils sont divisibles à l'infini , ou s'ils sont composés en dernier résultat de molécules indivisibles nommées *atomes*. Quoi qu'il en soit , il est certain que la division de la matière peut être portée à un point qui étonne l'imagination , comme on pourra s'en convaincre par les exemples que nous allons citer.

On sait qu'il est plus ou moins facile de diviser un corps solide en particules extrêmement fines et de le réduire en poussière ; mais ces particules acquièrent bientôt une ténuité telle qu'il n'est plus possible de les soumettre à de nouvelles opérations. Si cependant on les regarde au microscope , on voit clairement qu'on pourrait les diviser encore si l'on avait des instruments assez délicats. On peut réduire un corps en particules si fines, qu'étant agitées dans l'eau elles y restent suspendues pendant plusieurs jours avant de se déposer.

Les matières colorantes nous donnent aussi des preuves étonnantes de leur divisibilité. Si l'on délaie une très petite quantité de carmin au fond d'un vase , on pourra y verser en abondance de l'eau , qui en sera sensiblement colorée.

Nous empruntons à M. Haüy le calcul suivant , extrait des observations de Boyle ,

Le poids d'un grain d'or (ou d'environ 53 milligrammes) , que sa ductilité (1) permet de réduire

(1) La *ductilité* est la propriété que possèdent certains métaux de se réduire en fils quand on les passe à la filière , ou de

en feuilles, peut couvrir une surface de 50 pouces carrés, dont chacun aura, par conséquent, à peu près 27 millimètres de côté. Or, on peut concevoir ce millimètre divisé en 8 parties visibles, ce qui donne 46,656 petits carrés visibles dans une feuille d'or carrée, de 27 millimètres de côté; et comme le nombre de ces feuilles est de 50, on en conclura

se réduire en lames minces, sous l'action du marteau ou du laminoir : on donne plus particulièrement à cette dernière propriété le nom de malléabilité. Une filière est une plaque d'acier percée de trous de différents diamètres, où l'on fait passer les métaux que l'on veut réduire en fils. Un laminoir est composé de deux cylindres d'acier placés horizontalement et entre lesquels on engage le métal qu'on veut réduire en lame. Soit qu'on lamine un métal ou qu'on le passe à la filière, il faut avoir soin de le récuire, c'est-à-dire de le chauffer de temps en temps. Il semble qu'il y ait quelque différence réelle entre la ductilité et la malléabilité; car le fer, dont on peut faire des fils d'une finesse extrême, ne peut pas être réduit en lames très minces. D'après les essais faits sur la ductilité et la malléabilité des métaux, on les a classés dans l'ordre suivant :

MÉTAUX RANGÉS PAR ORDRE DE LEUR PLUS GRANDE FACILITÉ A PASSER	
A LA FILIÈRE.	AU LAMINOIR.
Or ;	Or ;
Argent ;	Argent ;
Platine ;	Cuivre ;
Fer ;	Etain ;
Cuivre ;	Platine ;
Zinc ;	Plomb ;
Etain ;	Zinc ;
Plomb ;	Fer ;
Nickel ;	Nickel ;
Palladium ;	Palladium ;
Cadmium.	Cadmium.

qu'une petite masse d'or du poids de 53 milligrammes, peut être divisée en plus de deux millions de parties sensibles, j'entends à la vue simple, car au moyen du microscope chaque partie redeviendrait une feuille d'or, où l'œil et le calcul trouveraient encore de quoi s'exercer.

La division va beaucoup plus loin dans le travail du tireur d'or. On prend une certaine quantité de feuilles de ce métal, dont le poids peut ne pas excéder celui de 3 décagrammes, ou d'environ une once, et l'on en couvre un cylindre d'argent. On fait passer ensuite ce cylindre par différentes filières, et lorsqu'on l'a réduit en un fil aussi délié qu'un cheveu, recouvert, dans tous ses points, d'une couche d'or extrêmement mince, on l'aplatit entre deux rouleaux d'acier. Dans cet état, il forme une lame dont la longueur est à peu près égale à 444 mille mètres, qui répondent à 111 lieues de 2,000 toises chacune; mais cette lame étant revêtue d'une couche d'or sur chacune de ses faces, on peut considérer les deux couches comme deux lames d'or d'une extrême ténuité, et les mettre, par la pensée, à la suite l'une de l'autre. De plus, la largeur de la lame étant d'environ $\frac{1}{9}$ de millimètre, ou $\frac{1}{7}$ de ligne, on peut supposer cette largeur divisée en deux; et ainsi la quantité d'or employée équivaut à quatre lames, dont chacune serait longue de 444,000 mètres.

Maintenant, si l'on conçoit que chacun des millimètres renfermés dans cette longueur soit divisé en 8, on aura plus de 14 billions de parties visibles dans une petite masse d'or du poids de 3 décagrammes, et qui équivaut à un cube d'or dont le côté n'aurait pas 12 millimètres ou 5 lignes $\frac{1}{3}$ de longueur.

Wollaston a imaginé un procédé à l'aide duquel

on obtient des fils de platine à peine sensibles à la vue simple. On fixe, pour cet effet, un fil de ce métal, d'une grosseur quelconque, dans l'axe d'un moule cylindrique, creux, que l'on achève de remplir avec de l'argent en fusion, qui devient solide autour du platine. Après avoir fait passer le tout à la filière, on fait dissoudre l'argent par l'acide nitrique bouillant, qui n'attaque point le platine, et l'on trouve au centre un fil de ce métal, ayant quelquefois un diamètre équivalent à peine à $\frac{1}{1100}$ de millimètre. Il est bon de faire observer que ces fils conservent toutes les propriétés du platine en masse.

Les impressions qui se font sur l'odorat ne sont pas moins propres à nous faire juger de l'extrême division à laquelle se prête la matière. Un seul grain de musc, par exemple, suffit pour répandre, pendant plusieurs années, une odeur très forte dans un appartement dont l'air est souvent renouvelé.

Compressibilité. La compressibilité est la propriété qu'ont les corps de pouvoir être comprimés, c'est-à-dire réduits à un moindre volume par une force suffisante. La compressibilité suppose que les parties qui forment le corps ne sont pas aussi près les unes des autres qu'elles pourraient l'être; or, cette supposition est vraie, puisque tous les corps sont poreux, comme nous l'avons vu précédemment. Elle suppose, en outre, que les parties des corps sont flexibles, car si elles étaient absolument inflexibles, aucune force ne pourrait les faire céder; et comme, rigoureusement parlant, il n'y a point de corps qui ne puisse céder à une force finie, cette proposition est encore vraie. On conclut de là que la compressibilité est une propriété générale des corps; qu'elle appartient à tous, mais non pas au même degré.

Dans beaucoup de corps, comme la peau des ani-

maux, la moelle du sureau, le liège, etc., la compressibilité est si grande, qu'on peut, pour ainsi dire, suivre de l'œil le rapprochement des particules de ces corps quand on les presse entre ses doigts. Dans ce cas, les pores changent de forme; ils s'aplatissent, et leurs parois se rapprochent.

D'autres corps, d'une structure très poreuse, comme la *Pierre ponce*, ne permettent pas à la compressibilité de se manifester, parce que ces corps étant très peu flexibles, se brisent dès que les parois de leurs pores tendent à se déformer.

Il y a une multitude de corps dans lesquels il ne se manifeste jamais de marque sensible de compression: tels sont le marbre, le verre, qui se brisent sous un choc un peu violent. On dit pourtant qu'ils sont compressibles, et l'on cite à l'appui de cette assertion l'expérience suivante:

On prend un plan de marbre poli, on l'enduit d'une légère couche de graisse, et on laisse tomber dessus une bille de cette même substance. On voit alors, à l'endroit du choc, une tache circulaire d'un diamètre d'autant plus apparent que la bille est tombée de plus haut. Une sphère ne peut toucher un plan que par un point, et puisque la tache a un certain diamètre, il faut que le marbre ait été comprimé.

On fait de semblables expériences sur le verre et les autres substances résistantes, et l'on obtient, à peu de différence près, des résultats semblables.

Il faut avouer cependant que la conséquence que l'on tire de ces expériences n'est pas rigoureusement démontrée; savoir: que les corps qui s'y trouvent soumis sont compressibles; car on peut expliquer cet effet par un déplacement momentané des particules, tant du corps choquant que du corps choqué, comme nous le verrons bientôt. Les parties

déplacées reprenant ensuite instantanément leurs positions respectives naturelles, produisent l'élasticité.

Dans le vide, on remarque que les taches ont beaucoup moins de largeur, ce qui porte à croire que l'air, chassé avec vitesse autour du point de contact à l'instant du choc, a une grande influence sur la production de cette tache.

Compressibilité des liquides. — Les liquides ne diminuent de volume qu'en très petite quantité sous une pression considérable : aussi les a-t-on long-temps regardés comme incompressibles. L'expérience sur laquelle était fondée cette opinion fut faite par les membres de l'académie *del Cimento* à Florence, en 1650. Nous fîmes fondre, disent ces académiciens, une grande sphère d'argent peu épaisse, et l'ayant remplie d'eau refroidie par le moyen de la glace, nous la fermâmes avec une vis très solide ; ensuite, nous commençâmes à la frapper de tous les côtés avec des marteaux : alors l'argent se condensait et diminuait la capacité intérieure, mais l'eau ne souffrait pas la moindre compression, car, à chaque coup, on la voyait suinter par les pores du métal, comme du mercure qui sort en petites gouttes au travers de la peau dans laquelle on le presse.

Musschembroek répéta cette expérience d'une manière plus précise. Il tint compte de l'air qui peut être intercepté entre les molécules de l'eau, et qui peut occasioner quelque erreur : il se servit pour cela de sphère de plomb ou d'étain de trois pouces de diamètre, et dont les parois avaient trois dixièmes de pouces d'épaisseur. Du milieu de chaque sphère s'élevait un tube de métal fort épais qui se terminait par un petit orifice. Il avait soin de purger d'air l'eau destinée à cette expérience et

dont il voulait remplir ses sphères; et pour qu'il n'en restât pas la moindre quantité, il les mettait sous la machine pneumatique pour les soumettre à l'épreuve du vide. Tout étant disposé de la sorte, il choisissait un temps froid pour que l'eau fût suffisamment condensée, et il fermait l'orifice de chaque tube avec un style de plomb, qu'il y introduisait à coups de maillet; puis il plaçait ces sphères sous une presse. Les sphères, qui auraient pu se déformer et s'aplatir facilement si elles eussent été vides, résistaient alors facilement à l'effort de la presse, et dès qu'elles commençaient à céder, l'eau suintait de toutes parts à travers les pores du métal.

Les précautions prises par Musschembrock, étaient nécessaires : l'air est très compressible, et il s'en trouve toujours plus ou moins d'interposé entre les molécules de l'eau (1), et on aurait pu attribuer à ce liquide des signes de compression qui n'auraient été dus qu'à l'air.

D'autres physiiciens ne partagèrent pas cette opinion. Canton mit hors de doute la compressibilité des liquides au moyen d'un appareil extrêmement simple, et qui consistait en une boule de verre soudée à un tube. Il remplissait l'appareil du liquide qu'il voulait éprouver, puis il le faisait bouillir pour expulser l'air, et fermait aussitôt hermétiquement le tube, en projetant à son extrémité la flamme

(1) MM. Humboldt et Gay-Lussac ont trouvé que l'air de l'eau est plus pur que celui de l'atmosphère, au point que le premier contient 0,32 d'oxygène, et que le second n'en renferme que 0,21. Voy. le Journal de Phys., 1805, et la Chimie de M. Thénard.

d'une lampe à émailleur. Il obtenait donc , par ce moyen , un tube où il n'y avait pas d'air , et par conséquent point de pression à la surface du liquide. (Nous démontrerons plus tard que l'air atmosphérique exerce une très forte pression sur les corps , soit qu'ils se trouvent plongés dans l'atmosphère , soit que le fluide atmosphérique agisse par son ressort à l'intérieur des vases hermétiquement fermés.) Après cela , il mettait un petit index pour marquer la hauteur du liquide dans le tube , dont il brisait alors l'extrémité. L'air rentrait subitement , comprimait le liquide qui , auparavant , ne supportait aucune pression , et le faisait diminuer de volume et descendre d'une certaine quantité.

On peut objecter à cette expérience que la pression atmosphérique qui vient agir tout-à-coup à l'intérieur du vase , tendant à refouler les parties du dedans au dehors , augmente par cette action la capacité de la boule ; et cette capacité étant augmentée , le liquide baisse sans diminuer réellement de volume.

Canton , pour répondre à cette objection , fit des boules où il mettait du mercure , et d'autres où l'eau était placée comme nous venons de le dire ; il les plaçait dans les mêmes circonstances et rompait les extrémités des tubes. L'eau était toujours comprimée , mais le mercure ne présenta aucune diminution de volume ; d'où il conclut que , si la pression atmosphérique augmentait la capacité de la boule en pressant sur l'eau , elle devrait également l'augmenter en agissant sur le mercure , et que les choses ne se passant pas de la sorte , l'eau était nécessairement comprimée.

Canton fit aussi l'expérience dans le vide : pour cela il disposait sa *boule à tube* sous un récipient et y mettait un index. Quand il avait enlevé l'air , il

le faisait rentrer tout-à-coup; l'air pressait bien alors à l'intérieur du tube, mais comme il pressait également sur la surface de la boule, ces deux actions se détruisaient sans influencer sur la capacité de l'instrument, et la diminution de volume alors observée se trouvait être entièrement due à la compression.

M. OErstedt a fait connaître un appareil ingénieux au moyen duquel on montre aisément la compression. Il consiste en un petit vase portant un long col dont le diamètre est capillaire, et se trouve terminé par un petit entonnoir. On remplit cette bouteille d'eau distillée et purgée d'air par l'ébullition, et on la place dans un châssis de métal portant, dans l'étendue qu'occupe le col, des divisions pour indiquer la quantité dont le liquide est comprimé quand on fait l'expérience.

On place, sur la même plaque de métal, un thermomètre pour marquer la température, et un petit tube plein d'air, fermé par l'extrémité supérieure, destiné à indiquer, par la diminution du volume de l'air, la quantité de la force comprimante (1).

Cette diminution est appréciée par une graduation faite derrière le tube. On met tout l'appareil dans un grand cylindre de verre à parois très épaisses, rempli d'eau et garni à la partie supérieure d'un piston remplissant exactement le tube, et avec lequel on exerce la pression nécessaire en tournant la vis que porte sa tige.

Cette pression se communique à toute l'eau du grand cylindre, puis par l'intermédiaire de cette eau, aux parois extérieures de la bouteille, et enfin, au liquide qu'elle renferme, par l'intermédiaire

(1) Voyez Tube de Mariotte.

d'une petite colonne de mercure, que l'on met à l'entrée du col de la petite bouteille, et qui s'y soutient parce qu'elle ne peut diviser la petite colonne d'eau qui la supporte ni se diviser elle-même pour laisser monter celle-ci à sa surface.

Cette colonne de mercure s'abaisse quand on comprime, et montre à l'œil la diminution du volume. Il faut avoir bien soin d'éviter, pendant l'expérience, les changements de température, qui introduisent de très grandes différences dans les résultats.

M. OErstedt a trouvé que la compression que subissait l'eau était en raison des forces comprimentes, et que, terme moyen d'un grand nombre d'expériences, une pression égale à celle de l'atmosphère (*voyez* l'art. Baromètre) produisait dans l'eau une diminution d'un quarante-cinq millionième du volume primitif.

Canton et M. Parkins ont trouvé des résultats, à très peu de chose près, semblables à celui-ci. Il paraît que les différents liquides ne se compriment pas de la même quantité.

Compressibilité des gaz. — La compressibilité difficile à démontrer dans les solides et les liquides, est de la plus grande évidence dans les corps gazeux. On peut les réduire, par la compression, à un volume beaucoup moins considérable que celui qu'ils occupaient; pour cela, il suffit d'introduire le gaz dans un appareil semblable à celui de la figure (*fig. 4*), qu'on appelle briquet pneumatique ou briquet à air, et qui est composé, 1° d'un tube de verre ou de cristal ABCD, bien calibré, c'est-à-dire de même diamètre dans toute son étendue; 2° d'un piston GH, remplissant très exactement le cylindre et portant une tige K; 3° d'un bouchon NOP, que l'on peut ôter et mettre à volonté, et

qui est maintenu dans sa position par deux pointes que l'on fait entrer dans les entailles en faisant un quart de révolution.

Si l'on veut faire l'expérience sur l'air, on enlève le bouchon, et on ne le remet qu'après avoir descendu le piston jusqu'en bas. Le corps de pompe est ainsi rempli d'air, qui n'est plus en communication avec l'atmosphère, et qui ne peut plus s'échapper quand on presse sur le piston. On peut faire ainsi diminuer considérablement le volume de cet air ; mais à mesure qu'il diminue, la difficulté de comprimer devient plus grande.

On peut calculer le rapport qui existe entre le volume du gaz et les poids comprimants : nous en exposerons les moyens en parlant du tube de Mariotte, dont nous ne pouvons nous occuper ici, parce que quelques données nécessaires à l'intelligence de cet appareil ne peuvent encore être exposées.

En soumettant tous les gaz à la même épreuve, on trouve qu'ils peuvent tous être comprimés ; mais un résultat fort surprenant, c'est que si l'on presse rapidement et fortement, il jaillit un trait de lumière. On allume même de l'amadou par ce moyen dans des cylindres de métal, vendus pour cet usage, et dont l'extrémité du piston est creusée de manière à loger la substance qu'on veut embrâser.

M. Saissy, qui a étudié les effets produits par une compression sur les différents corps gazeux, dit que la propriété de dégager de la lumière n'appartient qu'à l'oxygène, au chlore et à l'air atmosphérique.

M. Dessaignes, en soumettant l'eau à un choc rapide dans un briquet à air, en a fait jaillir tout-à-coup une vive lumière. Cette expérience donnerait de fortes présomptions en faveur de la compres-

sibilité de l'eau, quand même elle n'aurait pas été mise hors de doute. En effet, on ne peut guère concevoir cette production de lumière autrement que par le rapprochement des molécules liquides.

Pour faire sur les vapeurs des expériences semblables à celles que nous venons d'indiquer pour les gaz permanents, on emploie un briquet à air, que l'on remplit de mercure après en avoir retiré le piston, et qu'on dresse comme pour recueillir un gaz. On établit sur un fourneau le vase contenant le mercure, afin de le faire chauffer, puis on dispose sur un autre fourneau une cornue contenant de l'eau ou tout autre liquide que l'on chauffe également, et qui se réduit bientôt en vapeur transparente et très chaude. On remplit le corps de pompe, on y adapte le piston, et l'on peut se convaincre que la vapeur, à cette température, se comporte absolument comme les gaz.

Il faut, en répétant cette expérience, prendre bien des précautions pour ne pas se brûler ou respirer des vapeurs mercurielles; car ce métal acquiert alors une très haute température, à laquelle il produit des vapeurs abondantes et dangereuses.

Élasticité. — Nous avons dit qu'en comprimant les corps on éprouvait, pour les faire diminuer de volume, des difficultés d'autant plus grandes, qu'on les comprimait davantage.

L'élasticité est une propriété que possèdent certains corps de conserver d'une manière permanente un volume et une forme déterminés, et en vertu de laquelle ils tendent à se rétablir dans leur premier état quand ils en ont été dérangés par une cause quelconque.

On appelle *corps élastique* celui qui, après avoir été comprimé, reprend, lorsque cette compression cesse d'agir, les mêmes dimensions et la même fi-

gure qu'il avait auparavant. Tel est un arc, qui reprend sa situation rectiligne si l'on coupe la corde qui le tient courbé.

Telle est encore une bille d'ivoire qu'on laisse tomber sur un plan de marbre. Au moment du choc, les parties les plus voisines du contact sont refoulées vers le centre de la bille, tandis que les particules plus éloignées s'avancent par un mouvement contraire. La boule alors s'aplatit dans le sens de son axe vertical et perpendiculaire au plan même; elle s'allonge au contraire horizontalement.

Le plan lui-même ne reste pas parfaitement horizontal; mais cet effet a lieu si rapidement, qu'il est insensible pour l'œil.

Des hypothèses différentes ont été émises pour expliquer cette propriété: dans l'une on admet que le retour au volume primitif est déterminé par la tendance que possèdent les parois de chacun des pores de conserver d'une manière permanente une forme déterminée, et d'y revenir aussitôt que la force qui les a déformés cesse d'agir. Ainsi, dans cette hypothèse, pour rendre raison de l'élasticité d'une lame d'acier courbée, on suppose que pendant la flexion, les molécules de la partie convexe de la courbure se sont écartées les unes des autres, et que celles de la portion concave se sont rapprochées; que toutes ces particules s'efforçant de reprendre leurs distances naturelles, produisent deux effets qui concourent à rétablir le corps dans sa forme première. Cette théorie explique assez bien ce qui a lieu pour le liège et les autres corps qui ont une grande porosité, mais elle ne peut rendre raison de l'expérience suivante.

Prenez une lame de plomb, fixez la par une de ses extrémités et courbez la légèrement, en employant une faible pression, vous la sentirez résister,

et vous la verrez revenir à sa première forme en oscillant avec une certaine vitesse; mais si vous employez une force plus grande, vous la courberez réellement, quoiqu'elle ne conserve pas toute la courbure que vous lui aurez donnée.

Le plomb ne pouvant être comprimé sous le marteau, comment supposer qu'en vertu de la petite force qu'on a employée, les molécules de l'arc concave se soient rapprochées les unes des autres, et que celles de l'arc convexe se soient éloignées? Cette difficulté a forcé de recourir à une autre hypothèse, dans laquelle on admet que l'effet de l'application d'une force sur un corps ductile est de tendre à faire glisser les molécules les unes sur les autres, et par conséquent à changer l'arrangement que ces molécules avaient entre elles, pour leur en faire prendre un autre. Il y a, dans cette opération, des molécules complètement déplacées qui s'arrangent d'une manière stable dans de nouvelles positions, après avoir glissé les unes sur les autres; ce sont celles qui se trouvent le plus directement exposées à l'action de la force. Mais les particules qui sont éloignées du centre de l'action ne reçoivent qu'une petite impression et se dérangent un peu de leur position naturelle, sans pouvoir néanmoins s'arranger fixement dans de nouvelles positions. Ces molécules oscillent, en quelque sorte, autour de leur ancien point d'adhérence et tendent encore à y revenir: c'est de là que peut résulter la force élastique qui se manifeste. Ainsi, quand on applique une petite force à une lame de plomb, on ne produit qu'un déplacement momentané dans les molécules qui reprennent leur première position aussitôt que la force cesse d'agir: la force devenant plus considérable, quelques particules se trouvent entièrement déplacées, et la lame reste courbée; pendant d'autres molécules,

n'étant déplacées que momentanément, reprennent leur position primitive et rendent au corps, en partie, la première forme qu'il avait.

Cette hypothèse peut être appliquée à tous les corps, car, après l'avoir adoptée pour les métaux éminemment ductiles, on l'admettra aussi pour ceux qui le sont un peu moins, puisqu'on ne saurait à quel degré s'arrêter.

Un corps est d'autant plus élastique, que ses molécules se rétablissent plus complètement dans leur état naturel, et mettent à ce rétablissement une plus grande promptitude. Il y a des corps qui perdent quelquefois leur élasticité; il en est d'autres où on peut l'augmenter par différents moyens employés dans les arts.

Les corps sonores devant avoir un ressort très actif, on augmente l'élasticité des métaux dont on fait les cloches, les timbres, etc., en les combinant avec d'autres métaux, et formant ce qu'on appelle des *alliages*, parce qu'on a remarqué qu'un pareil composé est plus dur et plus élastique que chacun des métaux simples dont il est formé. Nous pouvons citer comme exemple les alliages des *cymbales*, des *cloches* et des *tamtams*, qui sont tous composés de cuivre et d'étain, l'un et l'autre assez ductiles quand ils sont seuls, et très durs quand ils sont combinés.

La plupart des métaux acquièrent, même sans être alliés, une plus grande élasticité lorsqu'on les bat à froid, ce qu'on appelle *écrouir*. Pour en avoir la preuve, prenez dans la même planche de cuivre deux lames de même dimension, battez-les, l'une à chaud et l'autre à froid, sur une enclume, essayez ensuite de les courber, et vous verrez, en les lâchant, celle des deux qui aura été écrouie reprendre son premier état, et l'autre garder presque entièrement la courbure que vous lui aurez imprimée,

Mais de tous les corps dont on peut augmenter artificiellement l'élasticité, il n'en est pas de plus remarquable et sur lequel on produise de plus grands effets, que le fer, d'abord en le combinant avec le charbon pour le convertir en acier, et ensuite en *tremant* cet acier.

La trempe consiste à faire rougir le métal et à le plonger dans un liquide pour le refroidir promptement. Cette opération donne à l'acier une grande dureté, le rend fragile et très élastique. Il est à remarquer que le fer ne jouit pas de la même faculté.

On peut faire perdre l'élasticité donnée à l'acier par la trempe, en le portant à une température rouge et le laissant refroidir lentement. L'inverse a lieu pour l'alliage dont on fait les cymbales et les tamtams.

Un autre moyen de faire perdre l'élasticité de l'acier, et que nous citerons, parce qu'il est moins connu, est celui que l'on emploie en Suède pour essayer les lames d'épées destinées aux armées. Il consiste à frapper d'aplomb et vigoureusement, avec le plat de la lame, sur une table ou sur un bassin d'eau. Au bout d'un certain nombre de coups, l'acier a perdu une partie de son élasticité, et on rejette comme mauvaises les lames qui en ont trop perdu.

Dans certaines circonstances, la forme du corps influe beaucoup sur son élasticité. Par exemple, un anneau que l'on jette de champ sur un plan de marbre, rebondit plus fortement qu'un disque de même poids; une sphère creuse rebondit plus qu'une sphère pleine.

Le choc détermine l'anneau à s'allonger dans le sens horizontal, de sorte qu'il se fait, dans tous les points de cet anneau, de petits déplacements de particules, et le retour de ces molécules à leur pre-

mière position, ramène vivement le corps à sa première forme. De même, la sphère prend une forme elliptique et se trouve, par une raison semblable, ramenée à sa forme primitive.

Les corps élastiques ne repassent pas brusquement à leur forme naturelle; ils n'y arrivent qu'après une suite d'oscillations au moyen desquelles les particules sont transportées successivement en deçà et au-delà du point où elles doivent s'arrêter. La vitesse des oscillations va en décroissant jusqu'à ce qu'elle soit réduite à zéro. Dans quelques corps, ces oscillations sont invisibles; mais l'œil les suit facilement dans un grand nombre d'autres: une pincette, par exemple, dont on lâche tout-à-coup les deux branches qu'on avait d'abord rapprochées. Un anneau déformé par le choc s'allonge horizontalement, puis verticalement, et ainsi de suite, un grand nombre de fois. Cet effet est évident sur un très grand anneau d'acier qu'on tient fixement par un point, tandis qu'on appuie sur lui par le point opposé.

L'élasticité de certains corps solides varie avec la température; par exemple, les métaux chauffés au rouge ne manifestent plus d'élasticité sensible. La cire, les graisses, etc., ne montrent point d'élasticité à la température ordinaire, parce que ces corps sont très ductiles; mais ils acquièrent cette propriété quand on les expose à un grand froid.

Les corps éminemment flexibles, comme les cordes, les peaux, acquièrent de l'élasticité lorsqu'ils sont tendus: les cordes d'instruments et les peaux de tambour en sont la preuve; mais l'humidité leur fait perdre une grande partie de la propriété que la tension leur avait fait acquérir.

C'est de l'élasticité que les ressorts de diverses espèces reçoivent leur force, et tout le monde sait

le quelle utilité ils sont dans les usages de la vie. L'expérience nous apprend que ces corps perdent peu à peu leur élasticité par un long exercice : c'est parce qu'ils quittent insensiblement leur forme pour en prendre une autre qui se rapproche de celle qu'ils ont dans l'état de tension. Les ressorts d'acier éprouvent moins cet inconvénient que les autres.

Balance de torsion. — C'est sur l'élasticité des fils métalliques qu'est fondée cette balance ingénieuse et si délicate. En effet, cet instrument, que nous devons à Coulomb, et qui est le seul propre à mesurer de petites forces, consiste en un fil métallique très mince, portant à l'une de ses extrémités un levier garni de deux balles de plomb, et fixé par l'extrémité supérieure dans une pince métallique. Si le fil de suspension n'est pas tordu, le levier reste immobile; mais en le tordant, on développe en lui une force d'élasticité qui tend à le ramener à sa position primitive. Coulomb a prouvé, par ses expériences, que la force de torsion des fils métalliques est proportionnelle à l'angle que la position du levier fait avec ce même levier quand le fil a été tordu; et, pour mesurer cet angle, il a muni l'instrument d'un cercle gradué.

Élasticité des liquides. — Les liquides ne donnent des signes d'élasticité que quand ils sont en globules et qu'on change leur forme par un moyen quelconque. Lorsque, par exemple, un globule de mercure vient à choquer un corps solide, il rebondit. Il suffit, pour l'éprouver, de mettre un petit globule de ce métal sur une table dont les bords sont relevés à angles droits, et de le faire rouler successivement d'un bord à l'autre. Aussitôt que le petit globule a touché la paroi verticale, il rebondit avec une certaine vitesse. On peut aussi s'assurer de

son élasticité en mettant un globule sur un plan horizontal, et en exerçant une petite pression à sa partie supérieure. On le voit changer de forme et s'aplatir, puis reprendre sa figure sphérique aussitôt que la pression a cessé d'agir, et manifester ainsi son élasticité. Il n'est personne qui n'ait vu une autre expérience qui prouve la même vérité et qui consiste à laisser tomber du mercure sur le plancher, où il se divise en une multitude de petits globules qui rebondissent avec force. Le même effet a lieu quand on laisse tomber de l'eau sur un parquet préalablement recouvert de poussière pour empêcher l'adhérence de ce liquide.

Élasticité des gaz. Nous avons vu que, dans les corps solides, comme dans les liquides, l'élasticité est le résultat du changement de forme plutôt que de volume. Il n'en est pas de même pour les gaz ou fluides aériformes, où l'élasticité n'a jamais lieu que par changement de volume.

La résistance que l'on éprouve bientôt en comprimant de l'air dans un briquet pneumatique, est produite par la tendance qu'a le fluide à revenir à son premier volume, c'est-à-dire par l'élasticité qu'il possède, et qui augmente avec la condensation; puisque, quand on cesse de presser, on voit, si le frottement n'est pas trop considérable, le piston revenir à sa première position, et le gaz à son volume primitif. C'est le meilleur ressort que l'on connaisse, car il ne perd jamais son élasticité.

L'air, condensé dans un vase, sort rapidement, aussitôt qu'on lui donne une issue, et cet effet de son ressort a donné lieu à un grand nombre d'applications utiles ou ingénieuses dont nous allons exposer les principales, qui, une fois bien connues, donneront le moyen d'expliquer celles dont nous n'aurons pas fait mention.

Fusil à vent.—Sa partie principale est une crosse de métal, creuse et très solide, garnie à sa partie supérieure d'une soupape qui s'ouvre de dehors en dedans.

On introduit de l'air dans cette crosse au moyen d'une petite pompe foulante qui se monte à vis sur la crosse, et à laquelle on substitue le canon du fusil, qui s'y adapte également.

L'air comprimé, agissant par son ressort sur tous les points de l'intérieur de la crosse, maintient la soupape fermée. Mais le mécanisme de la détente ouvrant cette soupape pour un instant très court, une petite quantité d'air s'échappe avec vitesse et chasse devant elle la balle introduite préalablement dans le canon. La soupape se referme aussitôt par le ressort de l'air intérieur, et l'on peut ainsi tirer cinq ou six fois de suite, sans recharger la crosse.

Fontaine de compression.—C'est un vase à parois épaisses (Fig. 5), dans lequel on introduit de l'eau jusqu'en AB. CD est un tube qui communique jusqu'au fond du vase et qui est fixé en E dans la partie inférieure d'un robinet dont F est la clé. On visse en G une pompe semblable à celle (Fig. 6), mais munie d'une soupape qui, s'ouvrant de haut en bas, laisse pénétrer l'air dans le vase sans lui permettre d'en sortir. Cet air traverse l'eau et va se placer dans l'espace qui se trouve au-dessus d'elle, et où il se trouve bientôt fortement condensé. Après un certain nombre de coups de piston, on ferme le robinet et l'on substitue à la pompe un ajutage h. L'air comprimé exerce de toutes parts une pression considérable; si donc on ouvre le robinet F, l'eau s'élançe par l'ajutage, sous la forme d'un jet qui s'élève d'autant plus haut qu'on a introduit plus d'air dans la capacité du vase.

Fontaine de Héron.—La fontaine de Héron n'est

qu'une modification de la précédent; mais l'air y est comprimé par le jeu de la machine même.

La fig. 7 représente cet appareil: c'est un vase partagé en trois cavités, dont la première *ABCD*, forme un bassin; la seconde, *CDEF*, est un réservoir où l'on introduit de l'eau par le trou *a*, que l'on ferme ensuite exactement. *ik* est un tube terminé en cône, qui descend jusqu'au fond de ce réservoir et qui porte un robinet; *EFMN* est une troisième cavité, close comme la précédente, et qui est remplie d'air. Elle communique avec *ABCD*, par le tube *pq*, et avec *CDEF*, par le tube *rs*.

Lorsqu'on verse de l'eau dans le bassin supérieur, le liquide s'écoule par le tube *pq*, dans la cavité inférieure. L'air qui s'y trouve renfermé est donc resserré dans un plus petit espace, ainsi que celui de *CDEF*, avec lequel il est en communication. Cet air, en vertu de la force élastique qu'il acquiert alors, presse sur la surface de l'eau, dans la partie *EFGH*, et force ce liquide à s'élaner au dehors par le tube *ik*, sous la forme d'un jet.

On donne différentes formes à la fontaine de Héron, mais dans lesquelles on reconnaît toujours le même principe. Cette machine est attribuée à Héron, qui vivait cent ans avant J.-C. MM. Girard ont employé cet appareil, pour construire une lampe fort ingénieuse qu'ils ont nommée *lampe hydrostatique*, et qui, ayant un réservoir d'huile au-dessous du foyer de lumière, avait un grand avantage sur les autres lampes connues à l'époque où ils l'inventèrent. Il existe, dans la Hongrie, une application en grand de la fontaine de Héron, pour l'épuisement des eaux des mines de Schemnitz.

Ludion.—On nomme ainsi une petite figure d'émail, soutenue dans l'eau par une ampoule de verre, percée d'un petit trou à sa partie inférieure, et tel-

lement proportionnée au poids de la figure, qu'elle puisse la maintenir en équilibre vers la surface de l'eau. On place le ludion dans un vase fermé par une vis ou par une peau de vessie (Fig. 8). Si l'on presse sur la vessie, l'eau entre dans l'ampoule par la petite ouverture et comprime l'air qui s'y trouve renfermé; alors la figure augmentant de poids, se porte aussitôt à la partie inférieure du vase. Si l'on cesse de presser sur la vessie, l'air comprimé repousse l'eau hors de l'ampoule, et la figure revient à la partie supérieure du liquide.

Machines soufflantes. — La construction des diverses machines soufflantes est fondée sur l'impénétrabilité et l'élasticité de l'air. On connaît la construction du soufflet ordinaire: ce qu'on nomme *ame du soufflet* est une soupape qui s'ouvre de dehors en dedans, et permet l'entrée à l'air quand on écarte les deux plateaux. Lorsqu'ensuite on les rapproche, la soupape se ferme, et l'air comprimé s'échappe par le tuyau, avec une grande vitesse.

A ce soufflet, dont se servent encore les maréchaux, on a substitué, dans les usines, des espèces de pompes à air, qu'on nomme *soufflets à piston*. Leur emploi, déjà fort avantageux, le deviendrait encore plus, si l'on parvenait à améliorer leur construction de manière à empêcher l'air de sortir entre le plateau mobile et les parois de la caisse.

Machine pneumatique.

Cette machine, dont l'objet est de faire le vide, fut inventée par Otto de Guéricke, vers l'an 1650; mais elle fut bientôt perfectionnée par plusieurs physiciens, et notamment par Hawksbée. Celle qui est en usage aujourd'hui est formée de deux corps de pompe, pareils à celui qui est représenté figure 9.

PP' est un piston qui se meut à frottement dans le corps de pompe ABCD, au moyen de la tige t ; le piston porte en s une soupape de métal, très légère et qui s'ouvre de bas en haut; elle s'ouvre quand la pression qui s'exerce sous le piston est plus grande que la pression extérieure. Quand celle-ci l'emporte, la soupape reste fermée.

Le corps de pompe ABCD porte une soupape *cou* que fait mouvoir le piston, et qui, pour cette raison, est appelée *soupape mécanique*. Quand le piston monte, la soupape et le renflement e s'appuient contre la plaque supérieure du corps de pompe; mais comme le piston glisse à frottement dur sur toute la longueur de la tige de la soupape, il en résulte que, quand il descend, il l'entraîne avec lui, et le tronc de cône e tombe dans l'ouverture de même forme a qui est au-dessous, la ferme, et se trouve pressée par le piston qui, une fois arrivé au bas de sa course, s'applique exactement sur le plan inférieur du corps de pompe.

A la partie inférieure du corps de pompe est un conduit aa' dont l'une des extrémités porte un pas de vis destiné à recevoir les ballons et autres vases dans lesquels on veut faire le vide. Cette extrémité vient s'ouvrir au milieu de la platine TT de la machine. La platine est formée d'un disque de verre bien plan, de quelques lignes d'épaisseur, et que l'on mastique solidement sur une forte plaque de métal; son objet est de recevoir les cloches, dont les bords sont dressés avec soin, et dans lesquelles on veut faire le vide. La figure 9 représente la platine, surmontée d'une cloche C.

Si maintenant nous supposons que le piston soit au plus haut point de sa course, que les soupapes soient ouvertes, et que l'air qui est dans la cloche et dans le conduit ait la même force élastique que l'air

extérieur, il est évident qu'aussitôt que le piston s'abaissera, la soupape du fond du corps de pompe se fermera, et que l'air ne pourra plus passer du corps de pompe dans la cloche; mais alors cet air s'échappera par la soupape du piston, et il n'en restera plus quand le piston sera au bas de sa course, c'est-à-dire quand il s'appliquera exactement sur le fond du corps de pompe; le piston étant soulevé, le vide se ferait entre lui et le corps de pompe, quand les choses sont dans cet état, si les soupapes restaient fermées; mais la soupape du corps de pompe s'ouvre aussitôt que le piston est soulevé, et l'air renfermé dans la cloche et dans le conduit arrive pour remplir le vide, tandis que la soupape du piston reste fermée, la pression extérieure étant plus grande que la pression intérieure. Si nous supposons que la capacité du corps de pompe soit, par exemple, la vingtième partie de la capacité de la cloche et du conduit, il est clair qu'il ne passera dans le corps de pompe que $\frac{2}{10}$ de l'air, à chaque fois qu'on élèvera le piston. Lorsqu'on rabaisse le piston, la soupape du corps de pompe se ferme, l'air que celui-ci renferme se comprime de plus en plus, et lorsque son élasticité l'emporte sur celle de l'air extérieur, il soulève la soupape du piston et s'échappe dans l'atmosphère. Un nouveau coup de piston fait sortir encore $\frac{1}{10}$ de l'air restant, et l'on voit que, en continuant à faire mouvoir le piston, on fera sortir à chaque coup $\frac{1}{10}$ du reste, puis $\frac{1}{10}$ du reste, et jamais le vide ne se pourra faire, puisque, en prenant la vingtième partie d'une quantité, puis la vingtième partie du reste, et ainsi successivement, on ne peut pas prendre cette quantité tout entière. Cependant on peut réduire l'air de la cloche à n'avoir plus qu'une très faible élasticité: dans les meilleures machines, on le réduit à n'avoir plus que 1

millimètre, et quelquefois même $\frac{1}{2}$ millimètre de tension, mais ce dernier cas est fort rare.

Quand on commence à faire le vide, l'air qui est renfermé dans le récipient a la même force élastique que l'air extérieur; mais quand le vide est fait, la pression extérieure n'est plus contrebalancée par aucune pression, et il faut faire un effort de 1 k. 033 pour chaque centimètre carré de la surface du piston; d'où l'on voit que; plus la surface de celui-ci sera grande, plus l'effort qu'il faudra faire pour le soulever sera considérable. On remédie à cet inconvénient, en donnant à la machine deux corps de pompe (fig. 9 bis). Alors la pression de l'atmosphère est contrebalancée par elle-même. Les tiges des deux pistons sont à *crémaillères*, et engrènent dans le même pignon, de sorte que quand l'un monte, l'autre descend. Le mouvement se communique à l'aide d'une manivelle.

La *clé* de cette machine est un robinet (fig. 10), qui porte deux ouvertures; l'une est percée comme dans un robinet ordinaire, et l'autre est longitudinale; cette dernière se ferme avec un bouchon de métal. Quand le vide est fait dans le récipient, et que la machine doit le conserver, on a le soin de tourner l'ouverture longitudinale du côté des corps de pompe; et lorsqu'on veut rendre l'air, on le tourne du côté de la cloche, et on ôte le bouchon de métal.

L'*épreuve*, dont l'objet est d'indiquer à chaque instant la tension de l'air du récipient, est tantôt un *baromètre tronqué* et tantôt un baromètre ordinaire, que l'on recouvre d'une cloche qui est en communication avec le conduit de la machine (fig. 9 bis). Cette communication peut s'ouvrir et se fermer à l'aide d'un robinet. Quand le baromètre est tronqué, on lui donne seulement 7 pouces de longueur,

et, dans ce cas, le mercure ne commence à descendre que quand la tension de l'air renfermé dans le récipient est réduite au quart de la pression atmosphérique.

Lorsqu'on construit l'éprouvette, il est bon de faire un *étranglement* vers le sommet de la branche fermée, car l'air en rentrant subitement, chasse avec violence le mercure, qui, sans cette précaution, pourrait briser le sommet du tube.

Machine de compression.

Cette machine a pour objet de condenser l'air. Elle est formée de deux corps de pompe analogues à ceux de la machine pneumatique, et la seule différence qui existe entre ces deux instruments, c'est que dans la machine de compression les soupapes s'ouvrent en sens contraire, c'est-à-dire *de haut en bas*. Le piston, en s'abaissant, comprime l'air et le force à passer dans le récipient; en se relevant, l'air du récipient presse la soupape du corps de pompe et la tient fermée; mais l'air extérieur, pressant sur la soupape du piston, l'ouvre et entre dans le corps de pompe; en rabaissant le piston, l'air se comprime de plus en plus, et il arrive un moment où il peut ouvrir la soupape du corps de pompe et passer dans le récipient. Et ainsi de suite.

L'éprouvette de cette machine est un tube droit, fermé à son extrémité supérieure, rempli d'air, et plongeant, par son autre extrémité, dans un vase contenant du mercure. Avant de faire jouer la machine, l'air du tube est sous la pression atmosphérique, et le mercure, dans son intérieur, est au même niveau que celui de l'extérieur; mais à mesure que la pression augmente, le volume de l'air diminue, et se réduit successivement à la moitié, au

tiers , etc. , de son volume primitif : et il est facile de juger , d'après la loi de Mariotte , s'il est sous une pression de deux , de trois , etc. atmosphères. Il est bon d'observer que l'air du récipient supporte une pression plus grande que l'air du tube , de toute la colonne de mercure qui s'élève dans celui-ci au-dessus du niveau extérieur.

Plus on comprime l'air , plus il devient dense ou épais ; ainsi l'air qui a occupé un certain espace , quand il est réduit ou comprimé dans un espace deux fois plus petit , devient deux fois plus dense ; quand il est comprimé dans un espace dix fois plus petit , il devient dix fois plus dense , et ainsi de suite. S'il devenait huit cent fois plus dense , il aurait la même densité que l'eau et serait aussi pesant , car la pesanteur croît en même raison que la densité. L'or est un des corps le plus pesants que nous connaissions , et partant , aussi des plus denses. On a trouvé qu'il est dix-neuf fois plus pesant que l'eau , et qu'une masse d'or de la forme d'un cube dont la longueur , largeur et hauteur serait chacune d'un pied , pèserait dix-neuf fois plus qu'une semblable masse d'eau. Or , cette masse d'eau pèse 70 livres ; donc la masse d'or pèserait dix-neuf fois 70 , c'est-à-dire 1330 livres. Donc , si l'on pouvait comprimer l'air jusqu'à ce qu'il fût réduit dans un espace dix-neuf fois 800 , c'est-à-dire quinze mille deux cent fois plus petit , il deviendrait aussi dense et aussi pesant que l'or ; mais il s'en faut beaucoup qu'on puisse pousser si loin la compression de l'air. D'abord on peut bien faire avancer le piston sans peine ; mais plus il est avancé , plus on rencontre de peine à comprimer davantage ; et avant qu'on puisse parvenir à réduire l'air à un espace dix fois plus petit , il faut employer tant de force pour pousser le piston , que le tuyau en créverait , à moins qu'il ne soit très fort.

Mobilité. — Tous les corps de la nature, quelque grands ou quelque petits qu'ils puissent être, occupent une place dans l'espace, c'est-à-dire que leurs diverses parties correspondent à diverses parties de l'espace dans lequel ils se localisent.

Les corps se trouvent en même temps à une certaine distance les uns des autres, c'est-à-dire qu'une plus ou moins grande partie de l'espace les sépare. Si cette distance est inappréciable à l'œil et généralement aux sens de l'homme, les corps sont dits se toucher.

Ceci posé, on doit voir que les corps peuvent tantôt varier, tantôt persévérer dans leur état, 1^o relativement à la place qu'ils occupent dans l'espace, 2^o relativement à la distance qui les sépare les uns des autres. De là les idées générales de mouvement et de repos.

Le mouvement est l'état d'un corps qui, pris successivement à diverses époques de la durée, se trouve ne plus occuper les mêmes parties de l'espace par les mêmes parties de lui-même, ou qui, occupant les mêmes parties de l'espace par les mêmes parties de lui-même, se trouve à une distance différente des corps qui l'entourent.

Le repos, au contraire, est l'état d'un corps qui, pris à diverses époques de sa durée, occupe les mêmes parties de l'espace, par les mêmes points matériels, ou qui occupant, soit des parties différentes par les mêmes points, soit les mêmes parties par des points différents, se trouve toujours à une égale distance des corps quelconques environnants.

On sent aisément, par ces simples définitions, qu'il doit exister plusieurs espèces de mouvements et de repos. Les principaux sont : le *mouvement absolu* et le *mouvement relatif*, le *repos absolu* et le *repos relatif*.

Parlons d'abord des mouvements absolu et relatif. Un corps en mouvement absolu est celui qui occupe, à diverses époques, divers points de l'espace : peu importe que la distance à laquelle il se trouve des corps voisins varie ou reste la même ; peu importe aussi que, fixé à la même place, relativement à un corps plus considérable qui le mène dans l'espace, il soit entraîné par le mouvement de celui-ci, ou qu'il se meuve d'un mouvement qui lui semble propre. Ainsi, par exemple, non-seulement la terre, roulant au milieu de l'espace, possède un mouvement absolu, mais encore tous les corps d'un moindre volume placés sur un point de sa surface, par exemple, les arbres, les maisons, ou ensevelis dans son intérieur, se meuvent d'un mouvement absolu. Cependant la première seule semble se mouvoir par sa propre impulsion, tandis que les autres, immobiles relativement à celle-ci, participent simplement à son mouvement.

Mais il se peut faire que, sur un corps ainsi poussé par un mouvement absolu, un autre corps, qui semble faire partie du même système que lui, et être entraîné en même temps et par la même force que lui, change de place relativement à lui. Tel est un homme qui se promène sur la terre, un vaisseau qui cingle sur les mers, une flèche ou une fusée qui s'élève dans les airs pour retomber ensuite. Cette sorte de mouvement se nomme mouvement relatif.

Quelquefois un corps est en mouvement relatif sur un corps qui, lui-même, est en mouvement relatif. Tel est, par exemple, un homme qui se promène sur le tillac d'un vaisseau, un oiseau qui grimperait le long des doigts de cet homme, etc. Dans tous ces cas, on conserve au mouvement le nom simple de relatif, sans y joindre rien qui marque la complication des mouvements.

On appelle repos absolu l'état d'un corps qui, considéré en plusieurs instants différents, remplit toujours les mêmes parties de l'espace, par les mêmes parties de lui-même ; et repos relatif, l'état de celui qui, ne correspondant pas constamment aux mêmes parties de l'espace, est toujours à égale distance des corps environnants. Tel est, par exemple, un homme immobile sur la terre. La sphère terrestre roulant au milieu de l'espace, l'homme qu'elle entraîne dans son mouvement de rotation, se meut de même au milieu de l'espace ; ainsi il est en mouvement. Mais relativement à la terre, il ne change point de place, puisqu'il est toujours à la même distance du sol que foulent ses pieds, des murailles ou des arbres qui l'environnent, etc. Il est donc en repos ; mais ce repos est relatif.

Il suit, de notre définition et de l'exemple qui l'accompagne, que le repos relatif ne va jamais sans mouvement absolu ou relatif. En effet, le repos relatif n'a lieu que quand un corps placé naguère dans une périphérie sphérique, cubique, cylindrique, etc. de l'espace, occupe plus tard une autre périphérie semblable. Or, ce changement de périphérie suppose un déplacement, et le déplacement lui-même suppose un mouvement ; seulement il peut y avoir des différences dans les mouvements, origines de ces déplacements. Le mouvement peut être absolu ; tel est celui de l'exemple précédent. L'homme immobile sur la terre est en mouvement absolu. Il en serait de même d'un homme étendu dans son lit ; le lit est en mouvement absolu et en repos relatif, et l'homme immobile dans ce lit se trouve dans le même état. Mais l'homme immobile dans un célerifère, dans un bateau, dans un vaisseau, serait à la fois en mouvement relatif, puisque les mouvements de ces trois véhicules sont relatifs.

Quant au repos absolu , celui qui suppose l'idée d'une privation totale de mouvement, d'une permanence réelle du corps dans une périphérie immuable de l'espace, d'une coïncidence continue de chaque point du corps avec chaque point correspondant du lieu pénétrable qu'il occupe, il n'existe pas réellement dans la nature , mais il représente l'étendue abstraite; ce qui est nécessaire de supposer , pour se rendre raison de ce qu'on doit entendre par repos absolu.

Cependant il n'est pas impossible qu'un corps occupe pendant plusieurs instants la même partie de l'espace pénétrable. Supposons, par exemple, la terre immobile : on sent que la mer , qui n'est qu'une partie du globe terrestre, partage cette immobilité ; le navire qui fend la surface de ces eaux sera alors en mouvement absolu , et tout homme qui marchera dans ce navire sera en mouvement relatif : ceci posé, il peut se faire qu'un des passagers marche sur le tillac de la proue à la poupe , avec une vitesse absolument égale à celle selon laquelle se meut le vaisseau : si , de plus , cet homme dirige ses pas dans un sens diamétralement opposé à celui de la navigation , et que ce soit, par exemple, dans un bateau qui aille à l'est , il en résultera qu'il occupe les mêmes points de l'espace , et qu'il n'aura pas réellement changé de place ; et cet homme serait , à la rigueur , dans un repos absolu apparent. Effectivement, si un observateur placé à quelque distance sur le rivage et armé d'une longue-vue, à l'aide de laquelle il pût apercevoir un homme dans un vaisseau , la dirigeait vers l'individu dont nous parlons , il le verrait immobile et de la même grandeur , malgré la fuite du bâtiment et la diminution progressive des autres objets.

Il est vrai que la supposition que nous avons faite en commençant, celle de l'immobilité de la terre et

par conséquent du mouvement absolu du vaisseau , n'est point juste , mais peu importe la fausseté de l'hypothèse , puisque nous ne voulons que donner l'idée d'un repos absolu résultant de la combinaison de deux mouvements , l'un absolu et l'autre relatif , égaux en vitesse et diamétralement opposés en direction.

Comme il n'y a ni degré , ni différence dans le repos , on ne le distingue pas en plusieurs espèces , mais le mouvement qui admet celles-ci , et qui est susceptible de ceux-là , peut encore , sous ce double aspect , se subdiviser : 1° en rectiligne ou curviligne ; 2° retardé , uniforme ou accéléré.

Les deux premières subdivisions portent avec elles leur définition. Le mouvement rectiligne est celui qui se fait en ligne droite , quelle que soit , du reste , sa direction. Le mouvement curviligne est celui qui se fait selon une ligne courbe ; il est représenté par les oscillations d'un pendule , la course d'un cheval dans un manège.

Le mouvement est uniforme lorsqu'un corps , après avoir , dans un intervalle de temps quelconque , parcouru un espace quelconque , parcourt dans un deuxième laps de temps égal au premier un espace de même longueur que pendant le premier : dans tout autre cas , si toutefois le mouvement subsiste , il est retardé ou accéléré. Si une bille poussée sur la terre , sur un tapis , sur un plan quelconque , parcourt une toise dans une seconde et cinq pieds dans la seconde suivante , le mouvement est retardé. Que cette même bille , jctée du haut d'une maison , et se dirigeant perpendiculairement vers le sol , parcoure un intervalle plus considérable dans la deuxième seconde que dans la première , le mouvement est dit accéléré.

L'accélération et le retardement peuvent se com-

biner quelquefois avec l'uniformité du mouvement. Ceci a lieu lorsque les intervalles parcourus sont proportionnellement égaux aux temps. Ainsi, que la bille qui roule sur un tapis et qui a parcouru, selon notre hypothèse, une toise dans la première seconde et cinq pieds dans la deuxième, en parcourt quatre dans la troisième, trois dans la quatrième, etc., ainsi de suite; le mouvement est *uniformément retardé*. Que cette même bille, tombant de très haut, parcourt en une première seconde un espace représenté par un 1, dans la deuxième un espace représenté par le chiffre 3, dans la troisième un espace égal à 5, dans la quatrième un espace égal à 7, et ainsi de suite, le mouvement est dit *uniformément accéléré*.

De l'Inertie. — L'Inertie est la propriété qu'ont tous les corps de persister, soit dans le repos, soit dans le mouvement. En effet, un corps mu ou stationnaire reste dans cet état, à moins qu'une force étrangère ne surmonte celle de l'inertie. C'est ce qui arrive toutes les fois qu'un corps mis en mouvement semble diminuer graduellement de vitesse et enfin s'arrêter de lui-même. Ce changement n'a lieu qu'à cause de l'action de deux résistances qui, continuellement, s'opposent au mouvement : l'une est la résistance du milieu où se meut le corps, tel que l'eau ou l'air; l'autre est celle du frottement. Tout corps porte ou pose sur un autre; en d'autres termes, tout corps qui se meut, frotte un autre corps, et celui-ci oppose certaine résistance. Une preuve que cette double résistance a lieu, c'est que si le milieu est moins dense, et par conséquent moins résistant (tel est, par exemple, l'air relativement à l'eau), ou si le plan sur lequel se meut une bille est plus poli qu'un autre (telle est une table de marbre relativement au tapis du billard), le mouvement

imprimé se conserve bien plus long-temps. Dans le vide, mais seulement dans le vide, il persiste éternellement, et tel est sans doute la cause du mouvement inaltérable des planètes. Partout ailleurs que dans le vide, un tel phénomène serait impossible, et le mouvement perpétuel, si souvent et si vainement recherché autrefois, est une chimère à classer avec la pierre philosophale et l'astrologie judiciaire. Quant aux appareils par lesquels on semble avoir créé un mouvement perpétuel, tel que l'instrument nommé mouvement perpétuel de Zamboni, tout consiste ici à faire agir perpétuellement une force dont chaque effort produit un effet; mais il n'y a eu cela que l'apparence et non la réalité du mouvement perpétuel, qui, dans les idées de ceux qui l'ont cherché, doit être imprimé en un seul instant inappréciable par une force qui n'agit qu'une seule fois pour toujours.

Pesanteur. — Quand les actions soumises aux lois ordinaires de la mécanique nous présentent des corps en mouvement, qui tendent à se porter les uns vers les autres, nous connaissons les agents extérieurs qui poussent ou tirent ces corps de manière à diminuer leur distance respective; mais, en observant la nature, nous reconnaissons une foule de phénomènes dans lesquels il suffit que deux corps soient en présence l'un de l'autre, pour qu'ils s'approchent sans qu'il existe autour d'eux aucune cause sensible de mouvement. Les choses se passent à notre égard comme si les corps s'attiraient ou tendaient d'eux-mêmes à se réunir. On a désigné cette sorte de tendance mutuelle par le mot d'*attraction*, qui, réduit à sa valeur la plus simple et la plus juste, désigne seulement le fait et non la cause.

On peut développer, dans certains corps, des causes d'attraction; par exemple, en frottant sur

du drap un bâton de cire d'Espagne, on lui donne la propriété d'attirer les corps légers qu'on lui présente, tels que de petits morceaux de papier. Nous ne voulons pas parler pour l'instant, de ce genre d'attraction qui est accidentelle; mais indiquer le principe de cette loi universelle en vertu de laquelle les corps s'attirent, et les globes célestes se portent les uns vers les autres, de l'attraction, en un mot. Newton et Képler avaient démontré que les corps célestes s'attirent, mais Cavendish a trouvé que toutes les masses s'attiraient à la surface de la terre.

L'appareil dont il se servit est très simple : il consiste en un bras de levier de 6 pieds de longueur. Ce levier est suspendu dans une position horizontale par un petit fil, long de 40 pouces (anglais), et porte à chaque extrémité une balle de plomb d'environ deux pouces de diamètre. Tout l'appareil est renfermé dans une cage de bois, destiné à le garantir des agitations de l'air.

L'attraction est la cause qui empêche les parties constituantes de notre globe d'être dispersées dans les airs, où il est isolé de toutes parts, et qui fait que les portions de sa surface, qui sont portées par nous à de grandes distances, retombent toujours dès qu'elles ne sont plus soutenues. On a aussi donné à ce phénomène les noms de gravitation, gravité, pesanteur, force centripète.

Tous les corps sont soumis à la gravité qui les dirige vers le centre de la terre. Si, trompés par nos sens, nous nous abstenions de tout examen réfléchi sur les phénomènes qui frappent constamment nos regards, nous pourrions penser avec Aristote, qu'il est dans la nature des corps véritablement légers, et non soumis à la pesanteur, comme semblent être les ballons, la fumée, etc., qui s'élèvent dans les airs; mais nous serions bientôt désabusés en ana-

lysant le phénomène dans toutes ses circonstances. La fumée ou le ballon ne s'élèvent dans l'air que parce qu'ils sont plus légers qu'un volume d'air égal au leur, comme on le voit pour le liège, qui monte toujours à la surface de l'eau où on le plonge.

Une chandelle, sous le récipient de la machine pneumatique, s'éteint dès qu'on fait le vide; et la fumée, au lieu de s'élever comme dans l'air, tombe. De même le ballon ne s'élèverait pas, si l'on pouvait faire le vide autour de lui.

Tous les corps sont également dominés par la pesanteur, qui agit également à chaque instant sur chacune de leurs molécules (1).

D'où il suit que la vitesse imprimée à un corps tombant ne dépend pas de la masse qui le constitue, et qu'elle est pour l'ensemble des molécules d'un corps, ce qu'elle serait pour chacune en particulier.

Il y aura plus ou moins de molécules en mouvement, suivant la grandeur de la masse; mais la vitesse commune sera la même dans les deux cas. Cependant nous ne voyons pas la boule de liège se porter vers la terre aussi rapidement que celle de plomb, quoique parties toutes deux de la même hauteur. C'est ce qui porta les anciens à penser que, dans les

(1) Il est essentiel de ne pas confondre la pesanteur avec le poids d'un corps. Le poids est l'effort avec lequel un corps tend à descendre. Cet effort est proportionnel à la quantité de matière propre que contient ce corps. Chaque particule de matière a une tendance à se précipiter vers le centre de la terre. Cette tendance est la pesanteur. Elle est égale pour toutes les molécules et indépendante de leur nombre. Plus un corps a de particules, plus il a de poids, cet effet résultant de la somme de toutes les tendances des particules.

corps, la pesanteur suivait la raison directe des densités, et qu'un corps dont la densité était double se précipitait une fois plus vite vers la terre (1).

Galilée fut le premier qui démontra la fausseté de cette dernière assertion, en faisant tombér de la même hauteur (du sommet de la tour de Pise) des boules de matières différentes : d'or, de plomb, de porphyre, de cuivre, de cire, etc. Il remarqua qu'il s'en fallait de beaucoup que ces corps tombassent avec des vitesses proportionnelles à leurs masses. La boule de cire, quoique incomparablement moins pesantes que les boules de métal, n'était devancée que de quatre doigts par les autres à l'instant où elles arrivaient à terre (2).

Désaguliers confirma aussi, par un grand nombre d'expériences, que la pesanteur ne suivait pas dans les corps la raison directe des masses. Il laissa tomber du haut de la coupole de Saint-Paub, à Londres, deux boules, l'une de verre, l'autre de vessie enflée d'air, dont les poids étaient dans le rapport de 19 à 1. La plus pesante arriva en six secondes et $\frac{1}{4}$, et l'autre employa dix-huit secondes et $\frac{3}{4}$ pour parcourir le même espace qui était de 272 pieds anglais. La vitesse avec laquelle ces corps tombèrent suivit donc un rapport bien différent de celui de leurs masses, puisque ce dernier étant de 19 à 1, celui de leur vitesse se trouva être de 3 à 1.

La différence qui se trouve est causée par la résistance de l'air qui s'oppose plus facilement à un corps léger qu'à un autre qui, sous un égal volume,

(1) Épicure et Lucrèce son sectateur, ne partageaient cependant pas cette opinion. Voyez LUCR., liv. 2, v. 238.

(2) Galilei, Mech., dial. 1.

serait plus pesant. L'on voit les corps tomber avec la même vitesse quand on enlève la résistance de l'air : l'expérience imaginée par Newton est on ne peut pas plus décisive (1).

Renfermez dans un tube long de cinq à six pieds un morceau de plomb, un autre de papier, des barbes de plumes, etc., puis faites le vide dans ce tube et renversez-le alternativement de haut en bas et de bas en haut : vous ne remarquerez aucune différence sensible dans le temps de la chute des corps ; mais si vous faites entrer un peu d'air par le robinet R., fig. 11, vous observerez en retournant de nouveau le tube, que les barbes de plumes et le papier tomberont un peu moins rapidement que le métal, et leur chute se ralentira d'autant plus que la quantité d'air qu'on fera rentrer sera plus considérable.

Pour faire comprendre la raison de ce phénomène, nous supposerons que le plomb pèse douze fois plus que le papier ; leurs masses seront entre elles dans le rapport de 12 à 1. Nous pourrions dire alors que le plomb est composé de 12 degrés de masse, tandis que le papier n'en contient qu'un seul ; mais chaque degré de masse est animé d'un degré de pesanteur qui l'excite à tomber. Le plomb est donc maîtrisé par douze degrés de pesanteur, et le papier par un seul. Ils ne doivent cependant pas, malgré cette différence, se mouvoir dans le vide plus rapidement l'un que l'autre, puisque douze degrés de pesanteur appliqués à douze degrés de masse pour les mettre en mouvement, ne peuvent produire plus d'effet qu'un seul degré de pesanteur

(2) Newton, Princ. philos. nat.

employé à faire mouvoir un seul degré de masse; ils doivent donc tomber avec la même vitesse lorsque rien ne leur fait obstacle; et, conséquemment, quand le tube est vide, ils doivent parcourir sa longueur dans le même temps.

Il est tout aussi facile de concevoir pourquoi le même effet n'a pas lieu quand le tube contient de l'air. Supposons que la masse de fluide qu'il contient, oppose une résistance propre à détruire dans chacun des corps tombants, un demi-degré de pesanteur : le papier perdra la moitié de sa force, tandis que le morceau de plomb, jouissant de douze degrés de pesanteur, ou de vingt-quatre demi-degrés, ne perdra qu'un vingt-quatrième de la sienne; il sera donc moins retardé dans sa chute, et tombera plus vite que le papier, et eelui-ci plus vite que les barbes de plume dont nous avons parlé.

Il resterait encore à reconnaître quelles sont les lois de la vitesse, que peut acquérir un corps en tombant de différentes hauteurs, et si l'intensité de la pesanteur est la même dans tous les climats de la terre; mais, comme nous avons besoin pour discuter ces lois, de notions que nous n'avons pas encore acquises, nous exposerons dans la *Dynamique* ce qui nous reste à dire pour compléter ce sujet.

CHAPITRE III.

NOTIONS DE STATIQUE.

Centre de gravité.

Nous avons dit que la pesanteur agit sur tous les corps, et sur les moindres particules des corps, car chacune de ces particules étant détachée d'un corps et placée dans le vide, puis abandonnée à elle-même, tomberait encore, quoique isolée, et l'effort qu'elle ferait alors serait le même qu'elle faisait avant d'être séparée du corps : en effet, des expériences journalières prouvent que le poids d'un corps ne change pas après qu'on l'a divisé.

La direction de la chute libre des corps, indique celle de la pesanteur, et en chaque lieu de la terre cette direction est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles ; et la surface des eaux suivant partout la convexité du globe, il en résulte que la direction de la pesanteur, qui s'incline avec elle, doit varier d'un lieu à un autre ; mais son changement ne doit devenir sensible qu'à des distances qui surpassent incomparablement les dimensions de tous les corps que nous considérons. Ainsi donc, pour chaque corps, la pesanteur qui sollicite ces diverses parties, peut être considérée comme agissant, suivant des directions parallèles entre elles, et *verticales* ou *normales à la surface des eaux, dans le*

lieu de l'observation (1). Les efforts de la pesanteur sur chaque particule d'un corps, sont comme autant de petites forces parallèles, que l'on peut composer en une seule résultante, qui est le poids du corps, et dont la direction passera par un point qui sera toujours le même, quelque position qu'on donne au corps : ce point est le *centre de gravité*.

Le centre de gravité est donc un point tellement placé dans un corps, que l'ensemble des autres parties de ce corps restent en équilibre autour de lui. Le corps restera en repos dans toutes les positions possibles, pourvu qu'il soit suspendu par ce point, ou que le prolongement de la ligne de suspension vienne y aboutir.

Si tous les corps étaient réguliers et homogènes, leur centre de gravité se confondrait avec le centre de figure; mais il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi : d'où il suit que le centre de gravité est toujours plus ou moins éloigné du centre de figure. Les méthodes qui servent à en déterminer la position sont *géométriques* ou *mécaniques*; mais, comme les premières ne sont pas du ressort de la physique expérimentale, nous n'exposerons que les moyens mécaniques.

Que l'on prenne un disque de bois ou de métal, également épais et pesant dans toutes ses parties; qu'on traverse son centre par un axe, on verra le disque rester dans toutes les positions où on l'aura placé. (Fig. 12.)

Si l'on fait passer l'axe en B ou en un point quelconque autre que le centre de gravité, le point A

(1) On dit qu'une ligne est *normale*, quand elle est perpendiculaire à un plan tangent mené, par ce point, à la surface courbe.

descendra aussi bas que possible, et si on le détourne de la position représentée par la fig. 13, le centre de gravité reprendra cette situation, à moins que le point A ne se trouve porté directement au-dessus de B, qui est le point d'appui. Alors le corps restera en équilibre, comme si le centre de gravité se trouvait dans le lieu le plus bas, parce que le point A tendant à descendre, et n'ayant pas plus de raison de passer par l'arc D que par l'arc C, fera effort pour tomber par la ligne AE; or, cette ligne passe par le point d'appui B, capable de supporter cet effort; par conséquent le corps restera immobile. Si l'on dérange de la plus petite quantité le point A vers C ou D, le corps suivra cette direction et trouvera le repos, comme en la fig. 13, après quelques oscillations.

D'où il résulte qu'un corps ne peut tomber, quelle que soit sa figure, s'il est soutenu par son centre de gravité, et qu'un corps en équilibre a son centre de gravité sur une même ligne que le point d'appui et le centre de la terre.

On appelle équilibre *stable*, celui où le centre de gravité se trouve au-dessous du point de suspension, parce que le corps peut se replacer, si on le dérange; et, au contraire, équilibre *instable*, celui où le centre de gravité est au-dessus du point d'appui, parce que le corps ne peut plus de lui-même reprendre sa position.

Les mêmes propriétés ont lieu pour les corps homogènes et de figure régulière, qu'ils soient cylindriques, triangulaires ou de toute autre forme.

Une sphère homogène reste dans toutes les situations qu'on lui donne sur un plan horizontal; elle restera même en équilibre, sur la pointe d'une aiguille placée verticalement, si le prolongement de cette aiguille passe par son centre.

La sphère et les autres corps de formes régulières se comportent comme si toute la matière dont ils sont composés se trouvait réunie en un seul point, centre de leur figure, s'ils sont homogènes.

La même réunion semble avoir lieu au centre de gravité de tous les corps de figure quelconque.

Pour trouver le centre de gravité d'un corps, quelle que soit sa forme, du triangle ABC (fig. 14), par exemple, suspendez ce corps par une de ses extrémités A, et approchez-en un fil aplomb passant par ce point.

Le centre de gravité se trouvera nécessairement dans la ligne de suspension, qui n'est autre que le fil AD : mais quel point de cette ligne occupera-t-il ? Pour le déterminer, il faut suspendre le corps par un autre point, comme C. Le centre de gravité se trouvera encore dans la ligne CE du fil aplomb. Étant à la fois sur les deux lignes, il ne pourra se trouver qu'à leur intersection G, et le corps, suspendu par ce point, restera en parfait équilibre.

Nous n'avons point tenu compte de l'épaisseur du corps, ce qui pourtant est essentiel ; pour y remédier et connaître le point réel où se trouve le centre de gravité, il suffit de faire la même opération de l'autre côté du corps, et de déterminer l'intersection des deux nouvelles lignes formées par le fil aplomb. La ligne qui traverse l'épaisseur au point G, est l'axe de gravité, et le milieu de cette ligne le centre de gravité.

Nous allons examiner maintenant quelques-unes des principales expériences, fondées sur le centre de gravité ; elles suffiront pour donner l'explication des autres faits de même nature, dont nous n'aurons point parlé.

La figure 15 représente un morceau de bois rond, que l'on peut faire rouler, et qui reste en équilibre

dans toutes les positions sur un plan horizontal, parce que la ligne verticale élevée au point de contact, passe toujours par son centre de gravité. Si l'on ajoute une masse de plomb, en un point de sa circonférence H , on fera varier le centre de gravité qui ne sera plus en o , centre de figure, mais en k , et le corps ne se maintiendra en équilibre qu'en deux positions : 1° quand le point k , étant dans la verticale, sera le plus près possible du plan; 2° quand, étant dans la même verticale, il sera le plus possible éloigné de ce plan : le corps prendra toujours la première de ces deux positions, toutes les fois qu'il ne sera pas dans la deuxième.

Voici quel est l'usage de ce cylindre, ainsi chargé de plomb et le paradoxe qu'il produit :

Soit AB (fig. 16), un plan incliné, H le cylindre placé de manière que le centre de gravité k , ne se trouve pas dans la ligne ZI , perpendiculaire au plan AB , mais en dedans de l'angle IZB ; le cylindre montera de lui-même vers la partie B , jusqu'à ce que le centre de gravité soit descendu aussi bas que possible, et par conséquent jusqu'à ce que le corps arrive au point M .

Pour faire plus commodément l'expérience, on adapte au cylindre un cordon qui, s'enroulant sur sa circonférence, l'empêche de glisser.

$ABCD$ (fig. 17) est un double cône ou fuseau, placé sur la partie inférieure des règles EF , GH , et qui remonte par ses extrémités le plan incliné que forment ces règles. Remarquons bien qu'à mesure que les extrémités A et B du cône, montent vers F et H , la partie renflée où se trouve le centre de gravité décrit la ligne IR , et que par conséquent le centre de gravité descend aussi bas que possible.

Nous croyons nécessaire de donner ici le moyen

de trouver le *centre commun de gravité* de deux ou plusieurs corps.

Le centre commun de gravité de deux corps, A et B (fig. 18), joints ensemble par une tige inflexible, que nous supposerons un moment sans pesanteur, se trouve nécessairement en un point quelconque de la droite qui les joint.

Admettons que ces deux corps sont de même poids, de deux livres, par exemple; et que la distance AB égale quatre pieds, on trouvera le centre commun de gravité par le raisonnement suivant :

La somme des deux masses A et B (quatre livres), est à une d'elles (deux livres), comme la distance des centres de gravité des deux corps (quatre pieds), est à la distance dont le centre commun de gravité est éloigné du centre de gravité du corps A ou du corps B. Le centre commun de gravité se trouvera donc au milieu de la ligne de jonction, si les deux corps sont également pesants.

Si les deux corps sont de poids différents, B d'une livre, par exemple, et A de deux (fig. 19); en supposant de trois pieds de ligne AB, c'est-à-dire la distance du centre de gravité de A, au centre de gravité de B, la formule précédente, appliquée à ces nouveaux nombres, donnera encore le centre commun de gravité. Nous dirons donc : la somme des masses A et B (trois livres), est à la masse B (une livre), comme la distance AB (trois pieds) est à AX (un pied).

Au lieu de trois pieds, si l'on prend tout autre nombre, soixante par exemple, les distances des centres particuliers de gravité au centre commun varieront dans les mêmes rapports, et l'on trouvera A et B éloignés du point C, l'un de vingt et l'autre de quarante mesures, ces deux derniers nombres étant entre eux comme 1 est à 2.

Appliquons ce principe à la recherche du centre commun de gravité d'un plus grand nombre de corps, de trois, par exemple, représentés par ABC (Fig. 20), de deux livres chacun.

Les moyens indiqués plus haut nous donneront facilement le point G, centre commun de ces deux corps pris au hasard, B et C.

Considérons le point G comme si le poids des deux corps B et C y était réuni, et cherchons le point X, centre commun de gravité de G et de A, et par conséquent celui des trois corps, nous le trouverons en disant : la réunion des corps B et C en G (quatre livres), plus le poids de A (deux livres), est au corps A (deux livres) comme la ligne GA (douze pieds) est à GX. Ce dernier point X de la droite GA se trouvera à quatre pieds de G, puisque six est à deux comme douze est à quatre.

Il suit de là que, par l'addition ou le retranchement d'un ou de plusieurs corps, on changera de place le centre de gravité d'un système.

Si l'on place un bouchon, ou tout autre objet, sur la pointe d'une aiguille, il ne s'y maintiendra en équilibre qu'autant que la ligne de prolongement de l'aiguille passera par son centre de gravité, ce qui sera fort difficile à obtenir dans certains corps ; mais si l'on adapte à deux côtés opposés de ce bouchon deux fourchettes, ou bien encore une petite figure d'homme qui porte deux boules de plomb au-dessous de son point d'appui, comme dans la fig. 21, ce corps gardera l'équilibre sur l'aiguille, quelque balancement qu'on lui imprime, et s'y maintiendra s'il n'est déplacé par une secousse assez violente.

Il est facile de voir qu'en ajoutant les deux fourchettes, on a changé, dans la figure, le centre de gravité, qui, se trouvant aussi bas que possible,

dans la ligne AB , gardera cette position tant qu'il sera soutenu.

Au lieu d'un bouchon, on peut disposer une petite figure, qui semblera, au premier coup d'œil, se soustraire aux lois naturelles, etc.

En plaçant au milieu de la sphère AB (Fig. 22), deux cercles mobiles, DN et FG , dont le premier ait, à deux points opposés quelconques, A et B , deux pivots qui le maintiennent à la sphère, et dont le second, plus petit que le premier, soit également soutenu par deux pivots attachés au premier cercle, et placés exactement aux points D et N , milieu des arcs ADB , ANB , de manière que ces pivots ou axes, étant prolongés, se couperaient, à angle droit, au point K , centre tout à la fois de gravité, de figure et de *mouvement*; on pourra du point K fixer sur le plus petit cercle, au moyen des rayons XYZ , une lampe qui, pourvu qu'elle soit fort pesante, aura toujours sa flamme en dessus, quoiqu'on fasse rouler la sphère en tout sens.

C'est de cette manière que la boussole de mer est suspendue, et l'on devrait construire ainsi les lanternes attachées aux voitures qui circulent pendant la nuit.

Lorsque les corps inclinés, tels que les cylindres oblongs $ABCD$, Fig. 23, $EFGH$, sont posés sur un plan horizontal, ils tombent du côté où ils penchent, si leur centre de gravité n'est pas obligé pour cela de s'élever auparavant. Ainsi, Z , centre de gravité du corps $ABCD$, descendra dans l'arc ZK , qui a pour centre le point D , centre de mouvement du corps lorsqu'il tombe.

Mais Z , centre de gravité du corps $EFGH$, se mouvant autour du centre de mouvement H , dans l'arc ZK , ne peut pas tomber en K sans s'élever auparavant en M , et par conséquent le corps ne peut

pas tomber par sa propre pesanteur. Observons que ZP, ligne de direction du corps EFGH, tombe en dedans de sa base.

Les Chinois ont trouvé moyen de rendre mobile le centre de gravité, dans l'intérieur d'une petite figure, qui, par là, exécute différents mouvements assez semblables aux exercices d'un sauteur.

Imaginez une petite figure creuse, dont l'intérieur est divisé en deux parties par une planchette située diagonalement des épaules à la partie inférieure du tronc, et percée vers le haut et vers le bas.

Les bras et les épaules sont mobiles sur deux pivots, ainsi que les jambes et les cuisses qui roulent sur deux autres pivots, placés un peu au-dessus de la partie inférieure du tronc. Les mouvements de ces parties sont modérés par un fil, de manière que la figure ne peut faire qu'une demi-révolution autour des points mobiles que nous venons d'indiquer. L'intérieur de la figure est chargée d'une quantité assez abondante de mercure pour que le centre de gravité du système de corps soit placé dans la partie où ce liquide se trouve rassemblé. Si l'on place la figure sur l'étage le plus élevé d'un gradin, en ayant soin de l'appuyer sur ses deux mains, le mercure se précipitera dans la cavité de la tête, et y transportera le centre de gravité. Celui-ci n'étant point alors soutenu, fera faire une révolution à la tête, entre les deux pivots des bras. Cette révolution entraînera le corps du petit homme, qui se précipitera sur les pieds, en tombant sur le second étage. Le centre de gravité se trouvera alors vers la partie inférieure du tronc, un peu au-dessus du pivot des cuisses. Le tronc fera donc une demi-révolution entre ces deux pivots, et la figure, tournant sur elle-même, se précipitera sur les mains, en tombant sur le troisième étage, et, ainsi de suite, de gradins en gra-

dins, jusqu'à ce qu'étant arrivée sur la table, elle s'y étende par suite d'une dernière demi-révolution.

Si l'on fixe un bâton ABA, Fig. 24, dans un seau CD rempli d'eau, de manière que ce bâton soit appuyé d'une part contre le fond du seau, et de l'autre part contre l'anse FAD, et qu'on fasse passer la lame d'un couteau entre le bâton et l'anse, le seau demeurera stable si on pose le manche du couteau sur une table. Supposant, en effet, que le centre de gravité de ce système de corps soit en K, le seau ne peut tomber, que le couteau ne décrive l'arc HL, et que, par conséquent, le centre de gravité K ne décrive en sens contraire KM. Or, il ne peut décrire cet arc sans s'élever; le seau demeurera donc stable dans cette position, et ne tombera point.

De l'équilibre des machines.

On nomme *machine* tout instrument destiné à transmettre l'action d'une force à des corps qui ne se trouvent pas sur sa direction, de manière que cette force meuve ou tende à mouvoir, suivant une direction qui ne leur est pas naturelle, les corps auxquels elle n'est pas immédiatement appliquée.

On donne le nom de *puissance* à la force dont on a pour but de changer la direction, en employant les machines, et l'on nomme *résistance* le corps qu'elle doit mouvoir, ou la force à laquelle elle fait équilibre au moyen de la machine.

Nous nous proposons pour l'instant d'indiquer les rapports qui doivent exister entre la puissance et la résistance pour obtenir l'équilibre; mais nous ferons abstraction des frottements ou difficultés que les différentes parties de la machine peuvent éprouver à glisser ou à couler les unes sur les autres.

Ainsi, lorsqu'il entrera des cordes dans la compo-

sition d'une machine, nous les supposerons dénuées de poids et parfaitement flexibles.

Il ne suffirait donc pas, après avoir donné à une puissance la grandeur qui convient à l'état d'équilibre, d'augmenter d'une petite quantité pour rompre cet équilibre et mettre la machine en mouvement ? il faudrait d'abord ajouter à cette puissance la quantité nécessaire pour vaincre les obstacles dont nous ne tenons pas compte : la moindre augmentation ferait naître ensuite le mouvement.

On distingue deux sortes de machines : elles sont *simples* ou *composées*. Les premières sont les éléments des secondes : elles les constituent par leur assemblage et leurs combinaisons diverses. Ces combinaisons n'altérant pas les propriétés des machines simples, il nous suffira de donner leurs lois, pour qu'on puisse calculer tous les effets des machines composées.

Les machines simples sont au nombre de trois : le *levier*, les *cordes* et le *plan incliné*.

Du Levier.

Considéré mathématiquement, un levier est une verge inflexible, sans pesanteur, droite (Fig. 25) ou courbe (Fig. 26), et mobile autour d'un de ses points, rendu fixe au moyen d'un obstacle quelconque auquel on a donné les noms de *point d'appui*, *centre de mouvement* ou *hypomochlion* (*hypo*, sous, *mochlos*, levier).

Les trois positions différentes que peuvent avoir la *puissance*, la *résistance* et le *point d'appui*, ont fait distinguer trois *genres* de leviers, distinction que quelques auteurs jugent inutile, mais que nous admettrons néanmoins, parce qu'elle peut faciliter

l'intelligence de ce que nous avons à dire sur cet instrument.

Levier du premier genre.

Le levier du premier genre est celui où la puissance est à l'une des extrémités, la résistance à l'autre, et le point d'appui entre les deux, quelle que soit, d'ailleurs, la distance de ce point aux extrémités.

Suspendons par son centre une règle métallique divisée de part et d'autre en portions égales (Fig. 27); l'équilibre existera, et il ne sera point troublé si nous ajoutons des poids égaux à chacune des extrémités B, F. Il aurait également lieu, si l'un des bras du levier était contourné (Fig. 28), pourvu que l'extrémité B ne fût pas plus éloignée que F du centre C, c'est-à-dire que ce levier agit, quelle que soit sa forme, de la même manière que s'il était droit, comme l'indique la partie ponctuée.

Nous n'aurons donc besoin de considérer que les propriétés du levier droit, représenté par la figure précédente.

Si nous portons en M, milieu de BC, le poids placé au point B, il ne suffira plus pour faire équilibre au poids semblable situé en F; et, pour obtenir de nouveau cette propriété, il faudra placer en M un second poids semblable au premier.

Si B est porté en I, moitié de CM, il faudra ajouter à ce point trois autres poids semblables, pour rétablir l'équilibre avec F éloigné du centre de mouvement quatre fois plus que le point I.

Il résulte de là que l'équilibre existe dans un levier de ce genre, toutes les fois qu'on y applique des masses dont les poids soient réciproquement proportionnels à leur distance du point d'appui, c'est-

à-dire, par exemple, que si l'on met 5 kilogrammes à l'extrémité d'un bras de levier égal à un mètre, on fera équilibre à un kilogramme placé sur l'autre extrémité à la distance de cinq mètres.

L'équilibre existe toutes les fois que le nombre qui exprime la longueur de l'un des bras du levier, multiplié par le nombre que représente un ou plusieurs poids qui y sont annexés, est égal au résultat de la même opération pour l'autre bras de levier; ce qu'on exprime en disant que les *moments* sont égaux de part et d'autre.

Ainsi, le levier ACB (Fig. 29) sera en équilibre, si sur le bras CB pendent les poids 6, 2, 3, le premier au point 7, le second au point 8, le troisième au point 9, pendant que le bras CA supporte aux points 3, 5, 10, les poids 5, 6, 4; car, 7×6 (ou 42) plus 8×2 (ou 16) plus 9×3 (ou 27) donnent 85 pour *moment* ou quantité de mouvement du bras CB; et 3×5 (15), 5×6 (30), 10×4 (40) donnent aussi pour moment du bras CA le même nombre 85.

Nous ferons observer sur ce levier, que toutes les fois que l'un des corps s'éloigne du centre de mouvement, son action augmente dans les rapports que nous avons exprimés, et que si l'on pouvait prolonger suffisamment le bras du levier en lui conservant son inflexibilité, on pourrait, avec des poids très peu considérables, équilibrer des masses immenses. Cependant, les espaces ou arcs parcourus par les extrémités du levier étant entre eux dans le même rapport que les bras du même levier, on perd toujours en mouvement, et, par suite, en temps, ce que l'on gagne en force.

On pourrait peut-être penser que la puissance d'une force augmentant à mesure qu'elle s'éloigne du centre de mouvement, la pression sur le point d'appui augmente également, et dans le même rap-

port; mais il n'en est pas ainsi, et le point d'appui ne supporte jamais que le poids du levier et celui des corps qui se font équilibre.

Pour se convaincre de cette vérité, on peut employer une machine (fig. 30) composée de deux leviers, dont l'un est suspendu par son point d'appui au moyen d'un fil attaché à l'une des extrémités de l'autre levier mobile autour du point fixe A.

On comence par faire équilibre au poids du levier CD, par le moyen du corps F, de même pesanteur que lui; si l'on applique ensuite au bras CD des poids qui se fassent équilibre, on n'aura besoin que d'ajouter au bras E un poids égal à leur somme, pour maintenir l'équilibre de tout le système.

De la Balance.

Tout le monde connaît la balance et sait qu'elle se compose essentiellement du *fléau*, dont chacune des parties à droite et à gauche du point de suspension porte le nom de *bras de la balance*; puis de deux pièces mobiles adaptées aux extrémités du fléau, que l'on appelle les *plateaux* ou les *bassins*. Le fléau est soutenu vers son milieu sur un pied solide; il porte une longue aiguille perpendiculaire à sa longueur, qui tombe sur le zéro de la division quand le fléau est horizontal. Cette aiguille passe à gauche ou à droite, suivant que le fléau se relève lui-même à droite ou à gauche. On met dans l'un des bassins le corps que l'on veut peser, et dans l'autre des poids jusqu'à ce que l'équilibre soit établi et que le fléau soit horizontal, ou du moins, jusqu'à ce que l'aiguille fixée sur le fléau fasse des oscillations égales à droite et à gauche du zéro de la division. Alors la somme des poids mis dans le bassin opposé doit être prise pour le poids du corps, C'est

ainsi qu'on procède, quand on n'a pas besoin d'une grande exactitude; mais ce n'est pas ainsi qu'on opère en chimie et en physique. Il faut deux choses pour atteindre à une grande exactitude : il faut une grande perfection dans le travail de la balance et une grande habileté à se servir de cet instrument.

Une balance, pour être bonne, doit réunir les conditions suivantes : 1° Il faut que le fléau n'éprouve sur ses supports que le moindre frottement possible.

2° Il faut que la distance du point d'attache des bassins au point de suspension du fléau soit très exactement la même dans toutes les positions que prend l'appareil avant de s'arrêter à l'équilibre; car si ces distances pouvaient changer, les poids qui sont dans les bassins agiraient par des leviers variables, et produiraient des différences dont on ne pourrait plus tenir compte : ce serait comme si on suspendait le fléau, tantôt par un point, tantôt par un autre, ou comme si on attachait les bassins tantôt à une moindre, tantôt à une plus grande distance du centre. On remplit cette condition en ajustant les pièces pour que les bassins ne touchent le fléau que comme le fléau lui-même touche ses appuis, c'est-à-dire par des arêtes légèrement arrondies, très dures et très polies.

3° Il faut que le centre de gravité du fléau soit convenablement placé, pour que l'équilibre soit stable, et pour que les oscillations ne soient ni trop lentes ni trop rapides.

4° Pour que le couteau ne fatigue pas les plans sur lesquels il repose, il y a deux fourchettes qui montent et qui descendent pour le soulever, ou pour le mettre en place. Quand on ne se sert pas de la balance, on lève les fourchettes par un mouvement de manivelle, et le fléau repose sur elles; quand on veut s'en servir, on abaisse doucement les four-

chettes, et le couteau vient reposer sur ses plans. Ce mécanisme sert aussi dans chaque pesée pour arrêter les oscillations du fléau.

On pourrait aussi demander, pour dernière condition d'exactitude, qu'il y eût une égalité parfaite entre les deux bras de la balance; c'est-à-dire entre la distance du couteau central aux deux couteaux extrêmes qui portent les bassins; mais il est très difficile que cette condition soit remplie et le plus sûr est de supposer qu'elle ne l'est pas. Borda nous a dispensé d'exiger des artistes ce dernier degré de perfection, en imaginant un moyen ingénieux qu'on nomme la *méthode des doubles pesées*. On met dans un des bassins le corps qu'on veut peser; dans l'autre, on met un corps quelconque, comme du plomb de chasse, du sable, pour établir l'équilibre; alors on lève les fourchettes, on ôte le corps en laissant son contre-poids, et à la place on met des poids marqués, des grammes ou autres poids, jusqu'à ce que l'équilibre soit exactement rétabli. La somme de ces poids est le vrai poids de ce corps, puisqu'ils produisent le même effet que lui pour équilibrer ce qui est dans l'autre bassin. Avec de bonnes balances, telles que celles de feu Fortin, il ne faudra plus pour peser exactement, qu'une dextérité qui s'acquiert par l'habitude. Les balances construites pour peser jusqu'à un kilogramme, trébuchent à un milligramme: un milligramme n'est qu'une parcelle de métal; mais c'est cependant un poids sensible; c'est le poids d'une mouche. Les balances faites pour aller à quelques grammes seulement sont beaucoup plus délicates et trébuchent sous le poids de quelques fractions de milligrammes.

Levier du second genre.

Le levier du second genre est celui où la résistance se trouve placée entre la puissance et le point d'appui.

S'il est fixé par une de ses extrémités, puis, qu'à un point quelconque on applique un cordon attaché à l'un des bras d'un levier du premier genre placé au-dessus (fig. 31), tenant compte, comme dans le cas précédent, de la pesanteur du levier S , on démontrera les lois de ce dernier; elles sont telles, que si deux grammes sont le poids qui agit comme s'il était immédiatement attaché au point b éloigné de D de 10 divisions (ce qui donne 2×10), il ne faudra pour lui faire équilibre, que, évalué en grammes et multiplié par le nombre de divisions où il se trouve placé, le poids représenté par la résistance soit égale à 20. Et comme il se trouve à la quatrième division, et que le nombre 5 est le seul qui, multiplié par 4, donne 20, la masse R sera égale à 5 grammes.

Levier du troisième genre.

Ce levier étant celui où la puissance se trouve entre la résistance et le point d'appui, il suffit pour l'obtenir de supposer que, dans le précédent, la puissance a été substituée à la résistance, et réciproquement. (Voy. fig. 32.)

C'est, comme l'on voit, le genre de levier le moins avantageux.

Pour trouver la quantité dont le point d'appui est pressé, il suffit de connaître le poids qui, placé en F , ferait équilibre à R autour du point Z , considéré comme point d'appui d'un levier du premier genre.

Il nous reste à faire observer que les instruments qui sont le plus en usage, sont des leviers de l'une des trois espèces : telles que sont les tenailles, les ciseaux, les mouchettes, etc., composés de deux leviers de première espèce dont le centre du mouvement commun est, dans les ciseaux, représenté par le clou, la puissance étant appliquée aux anneaux et le corps qui doit être coupé étant entre les deux tranchants. D'où l'on voit que plus le corps à couper est près de la pointe, plus la difficulté de couper est grande, et qu'elle est toujours moindre à mesure qu'il s'approche du clou.

Le couteau CM mobile à la charnière ou centre de mouvement C (Fig. 33), où il est attaché à la planche AB , représente un levier de la deuxième espèce, dont la puissance est au manche M , et la résistance, ou ce qu'on veut couper, est comme le poids R .

Les pincettes sont deux leviers de la troisième espèce dont le centre de mouvement est placé au ressort R ; la puissance (la main) est appliquée en P , P et le corps qu'elles soutiennent en Z est comme le poids (Fig. 34).

Nous avons supposé, dans tout ce que nous avons dit, que les forces étaient perpendiculaires aux bras de levier; car s'il en était autrement, les principes que nous avons établis ne subsisteraient plus.

Si les forces sont obliques, il peut se faire qu'elles le soient toutes deux également, que l'une le soit plus que l'autre, ou enfin que l'une soit perpendiculaire et l'autre oblique, et voici ce qui en résulte:

1° L'effet d'une puissance est le plus grand possible lorsque cette puissance agit perpendiculairement aux bras du levier. 2° Deux forces qui agissent l'une sur l'autre par un bras de levier, gardent le même rapport lorsqu'elles deviennent également

obliques. 3° Si l'une des directions obliques forme avec le bras du levier un angle plus ou moins grand que l'autre, celle des deux qui s'écarte le plus de la perpendiculaire rend la puissance plus faible, toutes choses égales d'ailleurs,

La figure 35 représente un levier AB soutenu au point C. Ses extrémités portent un cordon au bout duquel pendent les poids D, E. La ligne FG indique une coulisse où l'on fait mouvoir les poulies H, K; sur lesquelles on peut placer les cordons AD, BE, et par conséquent donner différents degrés d'obliquité aux poids D, E qui y sont suspendus.

On met d'abord en équilibre ces deux poids dans des directions perpendiculaires aux bras du levier, ensuite on rend oblique la direction de l'un des deux poids, en faisant passer le cordon sur la poulie. On voit alors que l'équilibre n'a plus lieu.

Nos lecteurs nous sauront gré, sans doute, d'avoir placé ici la traduction des plus intéressantes propositions de l'ouvrage d'Alphonse Borelli (*De motu animalium*).

C'est une spéculation curieuse et agréable d'examiner la proportion qui est observée dans le corps d'un animal comme dans une machine, de chercher à évaluer les puissances que la nature lui a accordées pour le mouvoir. Nous y voyons différentes applications de ces puissances, qui se soutiennent mutuellement pour mouvoir les membres qui agissent quelquefois de concert dans un même instant, qui agissent quelquefois successivement pour changer de direction, et qui, enfin, sont antagonistes directement opposés, et font cesser le mouvement; d'autres fois, elles tirent en passant sur des poulies pour changer l'angle de la traction, suivant que la nécessité l'exige.

Il n'est presque aucun os, dans le corps d'un

animal, qui ne soit un levier du troisième genre. Mais revenons à Borelli.

Dans sa vingtième proposition, il montre qu'il est à propos que les tendons qui font mouvoir les os soient attachés auprès de l'extrémité de l'os, à une grande distance du centre de mouvement, comme on tâche toujours de le faire dans les instruments de mécanique. Voici les paroles de l'auteur : « Soient deux os AB et GF, Fig. 36, joints ensemble et articulés en AF, et de manière que AB soit tiré autour de C, centre de l'articulation, comme les deux os du bras; et soit le muscle DE attaché à G, extrémité fixe de l'épaule en G, et que son extrémité soit jointe en E, extrémité de l'os inférieur du bras (*cubitus*) AB, laquelle extrémité doit être tirée autour du centre C de l'articulation, décrivant l'arc BH, je dis que la nature ne peut ni ne doit attacher l'extrémité du tendon E, auprès de l'extrémité B de l'os AB; car si elle le pouvait, supposons que la liaison E soit faite auprès de B, où est le poignet, alors le tendon et le muscle DE est ou détaché du membre et des os DAB, pouvant s'en séparer, ou il lui est attaché en bas par quelque ligament ou faisceau comme R. S'il est détaché, voici ce qui s'ensuivra : comme l'os AB ne peut pas se tourner en haut entièrement dans la situation AH, sans être tiré par la contraction de la corde musculaire DE, auquel cas sa longueur DE, pour être réduite à DM, doit devenir moindre que la huitième partie de DE, laquelle contraction dans le bras serait d'environ un pied et demi; ce qui serait non-seulement embarrassant, mais encore impossible : cela serait embarrassant, parce que la largeur et l'épaisseur du bras serait beaucoup augmentée pour contenir les dimensions de CM égal à CE, en sorte que le bras, par cette seule raison, deviendrait aussi gros que le

ventre de l'animal, et cette grosseur monstrueuse empêcherait les mouvements du bras et de l'animal. De plus, comme la structure d'un muscle est telle qu'il ne peut se resserrer que fort peu, rarement au-delà de la largeur de deux ou trois doigts, une telle fixation du muscle, qui exige une contraction prodigieuse (savoir d'un pied et demi), serait d'ailleurs impossible. Mais l'absurdité d'une telle position paraîtra plus évidemment si l'on suppose que l'os AB est l'*humérus* du bras gauche, qui doit être mu de tous les côtés autour de l'articulation C de l'épaule : afin qu'il puisse être amené à la poitrine, il est clair qu'il doit être tiré par le muscle ED, fixé en D, côté droit de la poitrine; il faut encore qu'il y ait un autre muscle pour l'élever, et qui soit fixé au sommet de la tête; et celui qui doit l'abaisser aura son origine dans la partie inférieure du ventre; ces muscles, avec ceux du bras droit, demanderaient un grand espace, enflé comme un grand tonneau; et la même chose serait requise pour les muscles du pied, ce qui rendrait un homme si éloigné d'être bien fait et bien articulé, que ce serait au contraire une masse lourde et ridicule, peu propre au mouvement et à manier les corps; ainsi cette forme doit être entièrement rejetée.

PROPOSITION XXI. — *La puissance absolue de chaque muscle d'un animal doit être nécessairement plus grande que le poids du membre qui y est suspendu; mais elle ne peut pas être moindre.*

Fig. 37 et 38. — La nature infiniment sage a tellement construit les corps des animaux, composés de différents organes joints ensemble, qu'elle les a rendus capables de se mouvoir d'un lieu à un autre, et de former les différentes opérations requises pour la conservation de leur vie. Mais cela ne saurait se faire en donnant à un animal une figure orbiculaire,

comme celle d'une balle, et il était à propos qu'il fût composé de différentes articulations, comme les mains et les pieds, pour marcher et saisir les objets; or ces membres n'auraient pas pu se mouvoir autour de leur articulation, s'ils n'avaient pas été tirés par des cordes musculaires, et ces cordes devaient être resserrées par une force mouvante. Il est question de faire voir que la force mouvante ne doit pas être moindre, mais qu'elle doit nécessairement être plus grande que le poids et la résistance des membres suspendus. Considérons un membre, par exemple le bras entier; il est clair qu'il était nécessaire à ce membre qu'il pût se mouvoir de tous les côtés autour de l'articulation de l'épaule, pour être en état de tirer, de suspendre, et de pousser les résistances, tant du bras même que des corps extérieurs qu'il doit saisir. Ces opérations demandent une figure particulière, des forces et des instruments convenables, et tous propres à atteindre ce but. La figure sans doute doit être longue comme un levier mobile autour d'un centre, d'un point fixe ou d'un appui solide dans l'épaule. Dans ce levier, on doit considérer les positions où les forces mouvantes et les résistances sont appliquées : la puissance mouvante agit en resserrant les fibres musculaires, qui ne peuvent être attachées qu'auprès du centre du mouvement du levier, comme on l'a dit plus haut, pendant que la résistance est appliquée à l'extrémité de sa longueur la plus éloignée; donc *la puissance sera à la résistance comme la plus grande distance de la résistance est à la moindre distance de la puissance au même point fixe*; et, par conséquent, la puissance mouvante est plus grande que la résistance.

PROPOSITION XXII. — *La force du biceps et du brachial antérieur, quand ces muscles relèvent le*

bras, placé dans une situation horizontale et renversée, est plus de vingt fois aussi considérable que le poids qu'ils soutiennent, et elle équivaut à plus de 560 livres. — Soit l'humérus EA, Fig. 39 et l'avant-bras avec la main AB, presque dans une ligne droite et horizontale, mais renversée (c'est-à-dire avec le coude en bas), et que la corde GB soit roulée autour des extrémités des doigts de la main étendue G, à laquelle corde en G est suspendu le poids R, qu'il faut augmenter par degrés, jusqu'à ce que l'excès de la puissance mouvante des muscles DC deviennent entièrement insensible, et qu'ils ne puissent plus soutenir de poids plus grand que R, mais qu'ils soient seulement capables de le soutenir avec une force égale; alors on peut juger que les *moments* des puissances du muscle et du poids sont entièrement égaux, aucune de ces forces ne surmontant l'autre; or, l'expérience nous apprend que, dans un jeune homme robuste, le poids R n'excède pas 26 livres, auxquelles il faut ajouter tout le poids de l'avant-bras et de la main, qui valent à peu près 4 livres, et ce poids n'agit pas à l'extrémité du levier, comme en B, mais dans un point moyen H, qui est au centre de gravité; donc, si l'on suspend un autre poids de deux livres en B, qui ait la même proportion, relativement au poids de tout l'avant-bras, que la distance OH à OB, nous aurons, pour notre levier, une ligne indivisible et sans pesanteur, à l'extrémité B de laquelle sont suspendus deux poids, savoir R et le poids de l'avant-bras, qui font en tout 28 livres; et, de plus, à cause que la direction CD du tendon du muscle qui tire le poids fait un angle très aigu avec la ligne CO, parce que le tendon du muscle touche exactement la tête de la jointure A, il faut, du point fixe ou *appui* O, tirer la droite OI; perpendiculaire à CI, direction du

tendon , et alors , par les principes déjà démontrés , on verra que *la puissance qui tire le muscle DC a la même proportion , relativement à la résistance du point R joint au poids additionnel dont on vient de parler , que la distance OB à la distance IO.* Mais par un examen rigoureux on sait que OB, longueur de l'avant-bras et de la main , surpasse plus de vingt fois le demi-diamètre de IO, tête de l'os ; donc la force ou la puissance qui tire le muscle DC est environ vingt fois plus grande que le poids R avec son poids additionnel ; et puisque ces deux poids valent 28 livres , il paraît que la force avec laquelle le muscle tire l'avant-bras , et fait effort pour plier le coude , est plus grande que celle de 560 livres.

PROPOSITION XXIII. — *Trouver la force que le muscle précédent exerce, lorsque l'humérus est perpendiculaire à l'horizon , et que l'avant-bras est parallèle à l'horizon.* — Soit , en second lieu EA (Fig. 40), l'humérus , et AB l'avant-bras à angle droit l'un sur l'autre , l'humérus étant perpendiculaire et l'avant-bras toujours horizontal. Dans cette position, la longueur du levier AB reste toujours la même , et le même muscle DC soutient à l'extrémité B un poids de trente-trois , comme on le sait par expérience ; mais comme l'angle ICO , formé par le tendon et l'os OC , est moins aigu que dans la précédente situation horizontale des mêmes deux os , parce que , lorsque l'humérus EA est bandé vers l'avant-bras AB, le tendon du muscle DC, adhérent à l'humérus , est aussi raide , cependant l'angle ICO ne devient pas un angle droit , parce que le tendon en I est fortement attaché par des faisceaux membraneux et par la peau, ces ligaments servant comme de poulie pour conserver au tendon vers A l'angle de l'articulation ; mais le tendon IC n'est pas joint

si étroitement en I, qu'il ne s'élève un peu, et par conséquent la ligne droite OI, perpendiculaire à la direction du tendon CI, devient sensiblement plus longue que dans le cas précédent, comme nous pouvons le voir en maniant notre bras, et par conséquent, la distance OB aura moins de proportion à IO qu'on ne l'avait trouvé dans la première situation; mais, quelque proportion qu'aient ces distances, elle sera la même réciproquement que celle de la force qui resserre le muscle DC, et qui tire l'os avec la résistance du poids R et du poids de l'avant-bras joints ensemble; donc cette force sera moins grande, proportionnellement à cette résistance, que celle de vingt à un, et puisqu'on a vu, dans la proposition précédente, que la plus grande force des muscles biceps et brachial antérieur était égale à 50 livres, on verra (par la proposition présente où le grand poids R est de 33 livres, et 35 en y joignant le poids de l'avant-bras), que la distance OI n'est que la soixantième partie de celle OB, et non pas la vingtième comme auparavant, et que, par conséquent, la distance OI étant sensiblement augmentée, il s'ensuit que ces muscles peuvent élever un plus grand poids, celui de 35 livres.

On doit ici observer que, quoique (par la raison que le membre EAB est courbé) les muscles ne sont pas étendus comme auparavant, mais qu'ils doivent être un peu relâchés, cependant la force mouvante de chaque muscle a moins de force de contraction, parce que réellement les muscles DC ne sont pas tous deux fixés au sommet de l'humérus; car le biceps est attaché à l'épaule ou à l'os de l'épaule, l'omoplate HLE en L, et le brachial antérieur au milieu de l'humérus, et parce que l'épaule HEL est toujours dans la même situation transversale, l'humérus EA, roulant autour du centre E de son articulation, doit

rendre l'angle IEO avec l'omoplate moins aigu, à mesure que l'humérus est plié en bas, et alors l'origine D du muscle biceps est plus élevée et s'éloigne plus du sommet de E, tête de l'os, parce que la longueur de la ligne LDI, sous-tendante de l'angle LEO, est augmentée, et, par conséquent, ce muscle est d'autant plus étendu à mesure que l'humérus est plié en bas; donc, quoiqu'à raison de l'angle EOB, le muscle brachial soit relâché, cependant le biceps en sera d'autant plus étendu à raison de l'élévation du point D sur la tête de l'humérus.

PROPOSITION XXIV.— *Force absolue du biceps évaluée à 300 liv., et du brachial antérieur évaluée à 260 liv.*— Soit l'humérus OE (Fig. 41) plié en arrière pour faire l'angle HEO aussi aigu que possible, et soit de même l'avant-bras AB tellement plié, qu'il devienne parallèle à la ligne supérieure de l'omoplate HL, alors les angles aigus alternes HDJ et CID seront égaux entre eux. Le muscle biceps DIC est relâché à cause de la petitesse de l'angle concave COE autant que tiré et tendu par l'angle convexe HDO; donc la tension du muscle biceps n'est en aucune façon altérée, et elle reste exactement de la même longueur que si le bras était dans une situation horizontale; mais le muscle brachial n'a pas le même avantage, son origine étant au milieu de l'humérus en F, et son extrémité ou insertion en J, auprès de la tête de l'avant-bras; et parce que l'angle EOC est aigu, le muscle brachial éprouve le plus grand relâchement, et par conséquent doit avoir peu ou point de force mouvante. On peut donc, en ce cas, trouver la force du biceps seul (c'est-à-dire supposé que la distance OI du tendon au centre de la tête de l'avant-bras ne varie pas). Supposons donc que le poids R, soutenu dans cette situation, joint au poids de l'avant-bras, soit

de 25 livres, puisque la distance IO est presque la douzième partie du radius et de la main, BO, la force absolue du muscle biceps sera 12 fois plus grande que le poids R joint au poids de l'avant-bras, c'est-à-dire qu'elle sera égale à une force de 300 livres, lorsque le brachial ne fait point d'efforts à cause de son grand relâchement. Ensuite, puisque les forces réunies des deux muscles agissant ensemble dans la première expérience, sont égales à une force de 560 livres, si l'on ôte de cette force celle du biceps seul, qu'on vient de trouver de 300 livres, la force restante, 260 livres, sera celle du brachial.

PROPOSITION XXV.—*Trouver quelle est la force que les muscles exercent quand l'avant-bras est pendant, tandis qu'on tient l'humérus perpendiculaire à l'horizon.* — Soit maintenant l'humérus EA, Fig. 42, et l'avant-bras AB dans une ligne droite perpendiculaire à l'horizon, le plus grand poids que l'on puisse suspendre en B serait presque immense si la force et la ténacité des ligaments pouvait toujours résister, et si elle était entièrement insurmontable. Si ensuite on fléchit un peu l'avant-bras, en sorte qu'il fasse un angle obtus FAB avec l'humérus, qui est maintenant perpendiculaire à l'horizon, et un angle aigu BAK avec la ligne horizontale OK, alors, certainement le grand poids R sera beaucoup augmenté, parce que si du point B on mène la ligne BK perpendiculaire à la ligne horizontale AK, le poids B, qui tire le levier AB obliquement, agira de la même manière que s'il avait été suspendu au point K du levier OK, et par conséquent nous aurons un nouveau levier OK plus court que OB; mais la force du muscle qui élève le levier tire du point I, et a pour distance de sa ligne de direction IO. Donc la force absolue qui resserre

le muscle (et qui est toujours la même) a la même proportion à la résistance du poids R que KO à IO. Donc si KO n'est que double de OI, le poids R, qui est soutenu dans cette position, sera la moitié de la force mouvante, et par conséquent égal à 280 livres; et si la résistance OK était moindre que OI, alors le poids R serait aussi plus grand que la force mouvante de ces muscles.

De là on peut aussi conclure que dans la flexion ou élévation de l'avant-bras, l'effet de la même force qui tire le muscle diminue continuellement, parce que la longueur du levier OK augmente successivement, et par conséquent le poids R doit être diminiué de la même manière.

PROPOSITION XXVI. — *Trouver la force des mêmes muscles lorsque le bras est placé dans une situation horizontale renversée.* — La force des muscles qui plient l'avant-bras peut agir d'une autre manière; savoir, lorsque l'avant-bras AB (Fig. 43) étant dans une situation horizontale renversée, elle doit se porter en bas vers G, par les muscles DC, qui sont maintenant sous l'avant-bras, car la corde BLG passant sur la poulie ou roue ML, mobile autour de l'essieu fixe M, il est évident que pendant que la main B descend, le poids R monte, AB étant le levier dont l'appui est O, et le poids R tirant l'extrémité B du levier en haut vers L, la puissance des muscles DC tire en bas le levier AB de I vers D; et par conséquent ce que nous avons dit plus haut se vérifiera encore ici, avec cette seule différence que dans le premier cas, l'extrémité B était tirée en bas, non-seulement par la résistance du poids R, mais encore par le poids de tout l'avant-bras et de la main, et qu'au contraire, ici, le poids de l'avant-bras n'agit pas contre la puissance des muscles, mais il favorise pour l'aider à tirer, parce que comme

dans cette situation les muscles tirent en bas l'avant-bras, ainsi l'avant-bras agit par sa pesanteur, et ces deux puissances, prises ensemble, ont un moment égal à celui du poids R. Or, comme dans le premier cas le poids de l'avant-bras a été ajouté à la résistance du corps pesant R, ainsi est-il ajouté à la puissance des muscles dans celui-ci; et puisqu'on a fait voir que la plus grande puissance des muscles DC était égale à 560 livres (par la XXII^e proposition citée ci-dessus), il s'ensuit que si le levier AB n'avait aucune pesanteur, ayant trouvé que la résistance OB est 20 fois celle de OI, le poids R doit être de 28 livres; mais parce que 2 livres ajoutées à R sont en équilibre avec le poids de l'avant-bras AB (c'est-à-dire qu'elles en font un levier sans pesanteur), il s'ensuit que le poids avec cette addition faisant 30 livres, sera le plus grand poids que la force des muscles puisse soutenir dans cette situation. On peut prouver cela d'une autre manière, car le poids de l'avant-bras qui descend étant comme 2 livres suspendues en B, et agissant également avec une force de 40 livres qui le tire appliqué en I (à cause de la proportion réciproque de 20 à 1), la force de la puissance DCI sera de 560 livres; donc cette force, jointe au moment de l'avant-bras qui agit avec elle, produira un effet égal à tout le poids de 600 livres.»

Ce qui paraît le plus merveilleux, c'est la force des muscles qui font mouvoir la mâchoire inférieure, que Borelli examine dans la 87^e et 88^e proposition de la première partie de son ouvrage, où il fait voir que tous ces petits muscles qui, pris ensemble, n'excedent pas dans un homme le poids d'une livre, agissent pourtant avec une force de 534 livres; et dans les dogues, les loups, les éléphants et les lions, ils ont une force beaucoup supérieure, qui leur permet de briser de gros ossements.

De la Poulie.

La poulie est un corps rond, circulaire, plat, mobile sur un axe C , et dont la circonférence cg (Fig. 44) est creusée d'une gorge destinée à recevoir la corde $FBAR$ ou $EOAR$ ou $GHOR$ (Fig. 45), à laquelle on applique d'un côté la puissance F ou E ou G , et de l'autre la résistance R . On fait ordinairement les poulies en bois ou en métal, et on les fait tourner sur l'axe Aa ; mais il vaudrait mieux fixer l'axe à la poulie, et faire tourner sur la chape ADa , qui supportent tout le système.

La poulie simple est une machine destinée à faciliter l'élévation des fardeaux; mais elle ne procure aucun autre avantage que de changer la direction, et de mettre ainsi dans toute sa force la puissance qui agit : par exemple, un cheval qui ne peut exercer sa force qu'horizontalement, vaincra une résistance verticale. Au moyen d'une poulie, la puissance peut tirer dans toutes sortes de directions sans perdre aucun de ses avantages, parce que la corde par laquelle elle s'exerce, est toujours tangente à la circonférence de la poulie, et par conséquent toujours perpendiculaire au rayon CH ou CB ou CO (Fig. 46), ce qui est la direction la plus avantageuse. Comme la poulie ressemble tout-à-fait au levier du premier genre, par sa manière d'agir, il en résulte que, si l'on trouvait moyen de faire agir la puissance à une plus grande distance de l'axe, cette puissance aurait de l'avantage. On parvient à ce résultat en se servant d'une poulie à plusieurs gorges, ou en fixant sur un même axe plusieurs poulies de différents diamètres. Ainsi, si l'on suppose en I (Fig. 47) un poids de 6 kilogrammes, il faudra en H un poids de 6 kilogrammes pour le soutenir, parce que les rayons

Cd et Ci sont égaux ; mais il ne faudrait que 3 kilogrammes en k , car le rayon $c2$ est double de cd , et il ne faudrait que 2 kilogrammes en L , parce que $c3$ est triple de cd . Il est évident que ceci revient exactement au levier à bras inégaux. On peut aussi, en modifiant la poulie à plusieurs gorges, mettre en équilibre deux forces dont les forces relatives changent sans cesse, en faisant qu'au lieu de plusieurs gorges concentriques il n'y en ait plus qu'une, mais qui prenne la forme d'une spirale, et qui conséquemment augmente insensiblement de diamètre à mesure qu'augmente l'intensité de l'une des forces. Prenez une poulie Λ (Fig. 48), dont la gorge soit creusée en spirale, et dont on voit la coupe en $gabc$ et le plan en $de4$; fixez au centre de cette poulie un barillet e ou E , garni d'un ressort pareil à celui d'une montre. Si la force de ce ressort est tenue en équilibre par un poids agissant sur DE , lorsqu'on aura roulé le ressort de quelques tours, le même poids le tiendra encore en équilibre, en agissant par gF , si le rayon EF est alongé dans la proportion d'augmentation de la force du ressort. Ce que l'on dit ici du point F , on peut aussi le dire de tous les autres.

L'axe d'une poulie simple ne peut jamais être chargé d'un poids supérieur à celui qu'exerce la somme des deux puissances ; mais il peut quelquefois éprouver une pression moindre. Le poids le plus considérable agit quand les deux cordes sont parallèles. Dans toutes les autres directions, c'est-à-dire sous toutes les obliquités, l'axe est moins pressé, et dans ce cas *la force dont l'axe est chargé est à la somme des forces des deux puissances comme la sous-tendante OA de l'arc embrassé par la corde, est au diamètre AB .*

La poulie peut aussi se comporter comme un c-

vier du deuxième genre ; en effet , lorsque la résistance R (Fig. 49) est fixée à la chape ci , qu'un des bouts de la corde est fixe au point a , pendant que l'autre est soutenu par la puissance d , la poulie est alors mobile et soulevée avec le fardeau ; elle représente donc , comme nous venons de le dire , un levier du second genre be , dont le point d'appui est en b , et qui est partagé en deux parties égales bc , ce , par la direction cI de la résistance R , et c'est la raison pour laquelle la puissance d n'a besoin que d'être la moitié de R , pour tenir cette dernière puissance en équilibre. Si les puissances agissaient suivant des lignes obliques entre elles, la poulie représenterait toujours un levier du second genre ; si , par exemple, la corde était fixée au point g , pendant que l'autre extrémité serait soutenue par la puissance P (Fig. 50), alors la puissance P devrait être à la résistance R , comme le rayon cb est à la sous-tendante lm de l'arc embrassé par la corde , et l'on conçoit que l'obliquité pourrait être telle, que la puissance devrait être plus grande que la résistance. Si , au lieu de tirer de bas en haut , on trouvait plus commode d'exercer la force de haut en bas , en employant une partie du poids de son corps , on pourra ajouter au-dessus de la poulie mobile m , une autre poulie fixe n qui ne changera rien que la direction (Fig. 51). On pourrait au besoin diminuer le poids de la résistance , en ajoutant une seconde poulie mobile , puis une seconde poulie fixe. Ce sont ces systèmes de poulies , dont les unes sont fixes et les autres mobiles , que l'on désigne par les noms de *mouffles* , et en terme de marine palans , carnioles. Les poulies fixes sont toutes sur une même chape ; il en est de même pour les poulies mobiles. La partie inférieure de la chape qui porte les poulies fixes sert de point d'appui à l'extrémité de la corde , et

l'on fixe la résistance à la partie inférieure R de la chape aux poulies mobiles. Il sera facile, d'après ce que nous venons de dire, d'évaluer la force nécessaire pour élever un poids au moyen d'une mouffle d'un nombre quelconque de poulies.

Dans ce que nous venons d'exposer, nous avons fait abstraction des frottements de la résistance, de la raideur et du poids des cordes, ce qui nécessite l'emploi d'une plus grande force que nous ne l'avons supposée. Nous ajouterons que le nombre des poulies doit être très limité, pour que le frottement ne soit pas trop considérable à vaincre, et qu'il faut en outre employer dans les mouffles des poulies de diamètres de plus en plus petits, pour que les cordes ne se touchent pas.

On fait encore usage d'un autre système de mouffle, où toutes les poulies sont d'un égal diamètre sur un axe commun, et les cordes vont un peu obliquement de la mouffle supérieure à celle d'en bas.

Des roues dentées.

Les roues peuvent aussi être considérées comme des leviers. On distingue les roues dentées et les roues ordinaires de voitures, etc. Ces roues peuvent être disposées de plusieurs manières; tantôt, en effet, elles portent, à leur circonférence, les dents par lesquelles se communique le mouvement; tantôt ces dents, sous forme de chevilles, sont placées perpendiculairement aux rayons. On met quelquefois sur le même axe qui porte une roue dentée, une autre roue dentée d'un diamètre plus petit que l'autre, et à laquelle on donne le nom de pignon. Il est aisé de voir que, dans ce cas, l'on a un levier du premier genre à bras inégaux, dont la longueur des uns est égale à celle du rayon de la roue, tandis que la lon-

gueur de l'autre bras correspond au rayon du pignon. Supposons trois roues, ABC, Fig. 52, et leurs pignons correspondants, *abc*; le pignon *a*, auquel nous donnerons la forme d'un cylindre, supporte un poids P; la roue A, qui a le même arbre que ce pignon, engrène sur le pignon de la roue B; la circonférence de cette seconde roue engrène sur le pignon de la troisième roue C; supposons maintenant qu'en appliquant à la circonférence C, une puissance Q, le tout soit en équilibre, et remarquons que la puissance agit par les roues, et que la résistance n'agit que par les pignons; il nous sera facile de calculer le rapport de ces deux forces; pour que l'équilibre ait lieu, il suffit, d'un côté, de multiplier la longueur du rayon de chaque pignon, par le produit du rayon des deux autres, et de multiplier d'un autre côté les rayons de chacune des roues. Si, par exemple, les rayons de chaque roue sont quadruples de celui du pignon, de huit, par exemple, tandis que l'autre est deux, on trouve soixante-quatre pour le premier produit et huit pour l'autre, ou que la puissance est un huitième de la résistance; ou en général on trouve que *la puissance est à la résistance comme le produit des rayons des pignons est au produit des rayons des roues*. On voit qu'à l'aide de ces machines on peut gagner beaucoup de puissance; mais c'est aux dépens de la vitesse; car on perd toujours en vitesse dans cet appareil comme dans tous ceux que produit la mécanique, ce que l'on gagne en force.

On a souvent besoin, en horlogerie sur-tout, d'avoir un certain rapport entre le nombre de tours que font deux roues: pour atteindre ce but, il suffit de donner aux roues un nombre de dents convenable; par exemple, si l'on veut avoir un pignon qui fasse quatre tours tandis qu'une roue n'en fait

qu'un, il suffira de donner à la roue un nombre de dents quatre fois aussi considérable que celui des ailes du pignon, et si l'on a plusieurs roues qui agissent les unes sur les autres par l'intermède des pignons, on verra que le nombre des révolutions de la première roue A est au nombre des révolutions du dernier pignon, comme le produit des ailes des pignons est au produit des dents des roues.

Nous allons jeter un coup d'œil rapide sur la manière dont se comportent les roues de voitures, dans lesquelles le centre s'avance en ligne droite, tandis que toutes les autres parties tournent autour de lui; on doit les regarder, le plus souvent, comme des leviers du second genre qui se renouvellent sans cesse à mesure que la roue s'avance. Chaque point de la circonférence est l'extrémité d'un rayon réel ou imaginaire CM (Fig. 53), appuyé par l'une de ses extrémités M sur le terrain, tandis que l'autre bout est chargé de l'essieu sur lequel repose la voiture et sa charge. Si le plan était parfaitement uni et horizontal, s'il n'y avait aucun frottement dans les moyeux, et que la direction des forces fût exactement parallèle à celle du plan, la force qui ferait mouvoir une voiture serait infiniment peu de chose, comparée à celle que nécessite l'imperfection de ces machines et les inégalités des routes sur lesquelles elles roulent, et, outre cela, le frottement de l'essieu. Les élévations ou les enfoncements du terrain changent la direction et, par suite, diminuent une partie de l'effet de la puissance. Un cheval placé plus haut ou plus bas, à cause de la disposition des localités, au lieu de faire son effort suivant la direction CP, parallèle à la portion du plan qui porte les roues, agit obliquement comme CR ou CS (Fig. 54.) La disposition la plus avantageuse est celle où l'axe des roues est un peu au-dessous de la poitrine du cheval.

Du Treuil.

Le treuil est un cylindre qui tourne sur son axe supporté par deux points fixes, et sur lequel vient s'enrouler une corde qui traîne un fardeau. On met cette machine en mouvement à l'aide de leviers croisés (Fig. 55), ou de chevilles placées à la circonférence d'une roue. Il est aisé de voir que la manière d'agir des leviers est absolument la même que celle du levier du premier genre. Soit gh (Fig. 56) le rayon du cylindre hP , le bras du levier par lequel agit la puissance P ; si la longueur hP est à hg comme 3 à 1, la résistance devra être trois fois aussi grande que la puissance, sauf les résistances.

Du Cabestan.

Le cabestan n'est rien autre chose qu'un treuil dont le cylindre est vertical (Fig. 57) au lieu d'être horizontal; mais comme les lois sont les mêmes que celles du treuil et du levier du premier genre, nous n'ajouterons rien à ce que nous avons dit plus haut, si ce n'est que le cabestan s'emploie plus ordinairement que le treuil, dans la marine.

Du Cric.

Le cric sert encore à vaincre une grande résistance avec une puissance peu considérable. Il se compose essentiellement d'une barre de fer AB , Fig. 85, garnie de dents à l'une de ses faces, et mobile dans une châsse CE ; les dents de cette barre engrènent avec celles d'un pignon DD , qu'on fait tourner à l'aide de la manivelle MN . Le pignon soulève la barre, et par suite la résistance que l'on applique

sur la tête A. Pour trouver le rapport de la puissance et de la résistance, on peut considérer l'effort que chaque dent du pignon fait en D, pour soulever la barre; il est clair que la puissance, appliquée à la manivelle, est à ce poids comme le rayon du pignon est au bras NM de la manivelle; si le rayon du pignon était très petit relativement à celui de la manivelle, on pourrait soulever, avec une force médiocre, un poids considérable.

Du Plan incliné.

Quand un corps repose sur un plan incliné, comme une partie du poids est détruite par le plan, il n'est pas nécessaire que la somme des poids d, d , qui le retiennent par le moyen des cordes Ded , soit égale au poids du corps D, si ces corps tirent dans la direction De , parallèle au plan incliné. Si le plan incliné ac ne s'y opposait pas (Fig. 59), le corps k tomberait dans la direction kh . Son point d'appui est en d ; on peut donc, pour s'en rendre raison, considérer le rayon dk comme un levier à l'extrémité k duquel agissent deux puissances, l'une, le poids du corps k dans la direction kh oblique au rayon dk , et l'autre kp perpendiculaire à ce même rayon. La longueur du bras de levier de cette dernière puissance est le rayon entier dk , et la longueur du bras sur lequel agit le poids du corps k se réduit à de , sinus de l'angle que fait la direction kh avec le rayon kd . D'après ce que nous avons déjà répété plusieurs fois, la puissance kp doit être au poids du corps k , comme de est à dk ; mais de est à dk comme ab , hauteur du plan, est à ac , sa longueur; le triangle dek étant semblable au triangle abc , comme ayant leurs côtés perpendiculaires, il y a donc le même rapport entre de , dk et ek , qu'entre

ab, hauteur du plan et *ac* sa longueur, et *bc* sa base. *de* représente donc *ab*, la hauteur du plan, et *d* représente *ac*, sa longueur. Il résulte de là, que dans le cas où la direction de la puissance est parallèle à la longueur du plan incliné, la puissance doit être au poids comme la hauteur du plan est à sa longueur; mais si la puissance n'agit pas parallèlement à la longueur, les rapports seront changés. Si nous supposons que la force est parallèle à la base du premier plan, la puissance doit être alors au poids comme la hauteur du plan est à sa base, comme *de* est à *ck* ou à *do*, égal et parallèle à *ek*. Cette direction *do* est le sinus de l'angle que fait la ligne *km*, direction de la puissance avec le rayon *dk*. Pour donner ces rapports d'une manière générale nous dirons que dans tous les cas : le poids et la puissance doivent être entre eux, comme les sinus des angles que font avec le rayon *dk*, la direction de la puissance et la ligne verticale.

Du Coïn.

Le coïn est un prisme triangulaire *OAC*, Fig. 60. Les deux plans *DdaA*, *CcaA*, qui sont les plus longs et que l'on nomme côtés, forment un angle à la ligne *Aa*, qu'on appelle la pointe ou le tranchant du coïn; le plan *DC cd* se nomme la tête ou la base. La ligne *BA* est la hauteur ou axe du coïn. La manière d'agir du coïn peut se rapporter au plan incliné, car il est clair que le plan *AC ca* est incliné au plan *AD da*. Nous allons donner ici la description et l'usage d'un appareil qui est ordinairement employé à déterminer l'action du coïn. *M*, *N*, Fig. 61, sont deux rouleaux de métal attachés, l'un, par la corde *mc l*, et l'autre, *n*, à la corde *n i d*. Chacune de ces cordes a par-dessus une pou-

de f et h , et porte à son extrémité un poids de dix kilogrammes. Supposons que la base ab du coin soit égale à la moitié de sa hauteur ch , il faudra une pression de cinq kilogrammes pour tenir ce coin en équilibre avec la somme des deux poids qui est égale à vingt kilogrammes, et un peu plus de cinq kilogrammes, pour faire enfoncer le coin de toute sa hauteur. Il est clair que pendant que ceci aura lieu, les deux poids p et r monteront chacun d'une quantité égale à la moitié de il , qui est ab , base du coin. Comme dans le cas d'équilibre la puissance est à la résistance en raison inverse des vitesses ou des espaces parcourus dans le même temps, il en résulte que, *quand l'équilibre a lieu, la puissance doit être à la résistance comme la moitié de la base du coin est à sa hauteur*; on voit que, par conséquent, plus le coin est aigu, plus la même force produit l'effet.

De la Vis.

La vis est un cylindre sur la circonférence duquel on a creusé une gorge en spirale CFG, Fig. 62. La partie saillante CF, qui demeure entre les tours de la gorge de la vis, s'appelle le *filet de la vis*, et la distance CG qu'il y a d'un filet à l'autre, s'appelle le *pas de la vis*. On fait également le filet et la gorge dans une cavité cylindrique pratiquée dans un morceau de bois ou de métal CD, Fig. 63, pour faire une vis intérieure qui s'appelle *écrou*. La vis est un plan incliné à la base du cylindre AB, Fig. 62. Ce plan est d'autant plus incliné que les pas CG sont moins grands; la hauteur du plan est le pas de la vis, ou la distance d'un filet à l'autre; la circonférence de la vis représente la base du plan; cette circonférence et la hauteur du pas en déterminent la

longueur, car si l'on développe un de ces filets AB, il formera un triangle ABC, rectangle en C, avec son pas BC, et sa base ou la circonférence AC de la vis. Lorsqu'une vis tourne dans son écrou, ce sont deux plans inclinés dont l'un glisse sur l'autre. En faisant abstraction des frottements, *la puissance est à la résistance, en cas d'équilibre, comme la hauteur du pas est à la circonférence que décrit la puissance*; d'où il résulte que la même résistance sera vaincue par une puissance d'autant plus petite que le pas de la vis sera moins grand, et que la puissance agira par un plus long bras de levier; mais, dans ce dernier cas, elle fera plus de chemin.

CHAPITRE IV.

DE L'HYDROSTATIQUE.

On donne le nom d'*hydrostatique* à cette partie de la physique qui considère la pesanteur et l'équilibre des liquides, ainsi que la manière dont se comportent les corps que l'on y plonge. Nous allons examiner successivement chacune des parties que nous venons d'établir.

De la pesanteur et de l'équilibre d'un liquide.— Les parties qui composent un même liquide étant extrêmement mobiles les unes autour des autres, se comportent et exercent leur pesanteur bien différemment des corps solides; dans ceux-ci, en effet, les parties constituantes étant toutes adhérentes entre

elles, agissent en commun, et pèsent en commun; c'est pour cela que le choc d'un solide est bien différent de celui d'un liquide, et qu'une quantité d'eau qui ne nous ferait aucun mal en tombant sur nous, pourrait, si elle était convertie en glace, nous en faire beaucoup. Il est aisé de montrer par expérience que les molécules d'un liquide pèsent indépendamment les unes des autres; pour cela, il suffit de prendre un vase cylindrique de verre AB, fig. 64, percé à son fond d'un trou C, garni d'une virole cylindrique D de cuivre, d'un pouce de diamètre, que l'on ferme avec un piston G, bien graissé et bien ajusté à la virole, de manière à ce qu'il puisse céder à une faible pression. Une tige ou un fil GH, portant le piston à sa partie inférieure, vient en H se fixer à un bras de levier dont le centre de mouvement est en L; à l'autre extrémité N du levier, on suspend un bassin de balance I. Sur la virole D s'ajuste un tube de verre cylindrique FE, dont le diamètre intérieur est égal à celui de la virole, et dont la hauteur est celle du vase. Alors on remplit le tube EF d'eau, et l'on met dans le bassin des poids en quantité justement suffisante pour être enlevés par le poids de cette colonne lorsque le tube est plein exactement; ensuite on enlève le tube de verre, on rajuste le piston, on conserve le même poids dans le bassin, on remet de l'eau dans le grand vase lui-même, et l'on observe que le bassin n'est encore enlevé, dans ce cas-ci, que quand l'eau a atteint la même hauteur qui existait dans le petit tube seul; d'où il est évident que si l'on avait à vaincre le poids de toute la masse d'eau du grand vase, le piston céderait bien plus promptement, et qu'au contraire le piston G n'a à vaincre que le poids d'une colonne d'eau égale à son diamètre. Si l'on supposait, au contraire, que la masse vînt à se solidifier,

comme toutes ses parties seraient adhérentes les unes aux autres, il faudrait, pour soulever le piston, supporter le poids de toute la masse. De cette manière indépendante d'agir des molécules d'un liquide, il résulte qu'un tel corps pèse sur les parois des vases qui le contiennent, tandis qu'un solide n'exerce son poids que sur le fond du vase. Tout le monde sait que si l'on fait un trou à une des parois d'un vase renfermant un liquide, ce liquide s'échappera par l'ouverture.

Équilibre des liquides.

Toutes les molécules d'un même liquide sont en équilibre entre elles, soit dans un seul vase, soit dans des vases communiquant ensemble. Pour qu'il en soit ainsi, il faut que chaque molécule éprouve, dans tous les sens, des pressions égales et opposées, et il faut, en outre, que les molécules supérieures des liquides donnent lieu à une surface perpendiculaire à la pesanteur qui les sollicite à tomber. Supposons pour un moment, que la surface d'un liquide, au lieu d'être plane, soit convexe, comme *abcd* (Fig. 65), et représentons par *VVV* la force qui les sollicite. S'il en était ainsi, il faudrait qu'une petite colonne telle que *bd* supportât le poids des molécules qui lui sont supérieures; mais, comme nous venons de le dire, la pression se transmettrait latéralement, et la molécule *b* serait déplacée par d'autres molécules qui le seraient successivement, jusqu'à ce que la courbe *bcd* fût devenue horizontale. Quand plusieurs vases communiquent entre eux (Fig. 66), les phénomènes se passent pour le niveau du liquide dans tous ces tubes, comme si on supposait que ce fussent les portions d'un liquide contenu dans un vase assez grand pour contenir tout

l'appareil, comme ABCD. Cette propriété que possèdent les liquides de remonter aussi haut que le lieu d'où ils sont partis, quelle que soit, du reste, la profondeur à laquelle on les ait fait passer, donne le moyen d'avoir chez soi de l'eau quand on connaît une source placée au même niveau. Ce fait peut aussi servir à donner une explication de certaines sources qui se trouvent au sommet des montagnes.

Ce que nous venons de dire de l'horizontalité de surface des liquides ne doit s'entendre que pour des espaces d'une petite dimension ; car en prenant un grand espace, sur la mer, par exemple, la convexité qui doit nécessairement résulter de la forme du globe devient sensible, et c'est pour cela qu'à de grandes distances, quand un vaisseau arrive, on commence par voir l'extrémité des mâts ; puis successivement on voit des portions de plus en plus grandes, jusqu'à ce qu'enfin le vaisseau vienne se présenter à nos regards, en imitant le même effet que s'il sortait des flots. Cela n'aurait pas lieu si la surface était plane, car alors, sitôt qu'on apercevrait le bâtiment, on l'apercevrait tout entier.

Nous venons de dire que chaque portion du fond d'un vase n'a à supporter que le poids de la colonne liquide qui lui correspond ; examinons maintenant ce qui aurait lieu si nous donnions différentes formes aux vases. Supposons qu'on remplisse d'eau les trois vases ABCD (Fig. 67), EFGH (Fig. 68), LMN-OPQ (Fig. 69), dont les hauteurs AB, IF, LT, soient les mêmes, et dont tous les fonds BC, FG, NO sont égaux ; il est prouvé, par expérience, que tous ces fonds sont également chargés. On comprendra aisément que le fond des deux premiers vases supporte un poids égal à la colonne correspondante au diamètre du fond du vase et de la même hauteur

que ce vase ; mais on ne voit pas aussi facilement comment la chose a lieu également pour le troisième. On peut néanmoins y parvenir à l'aide des considérations suivantes : sur la portion TV du fond NO, (Fig. 69), il y a une pression égale à celle de la colonne d'eau qui aurait TV pour diamètre, LT pour hauteur. Si sur toutes les portions égales du fond du vase il y a une pression semblable à celle de la colonne LTVQ, ce fond sera également chargé. Or, sur la portion VX, par exemple, il y a une pression égale à celle d'une colonne d'eau QVXR, laquelle égale LTVQ ; car la petite colonne PVXS, qui repose dessus, tend à s'élever par la pression de la colonne voisine LTVQ, et avec une force égale à LMPQ, différence entre la grande et la petite colonne ; elle presse donc la partie PS du fond supérieur avec cette force là, et comme il y a de la part du vase une réaction égale à la compression LMPQ, il y a sur la portion VX du fond NO une pression résultante de la colonne VX du fond NO, une pression résultante de la colonne PVXS et de la réaction PS qui égalent ensemble la pression de la colonne LTVQ. Il en serait de même de toute autre portion que VX. Il résulte de là un fait dont on tire un grand parti dans les arts et qui semble d'abord un paradoxe, c'est que la même quantité d'eau peut, suivant la manière dont on l'emploie, exercer une force deux ou trois cent fois plus grande ; il en résulte aussi qu'un tonneau TO, (Fig. 70), plein de vin, pourra crever si on le charge de quelques kilogrammes d'eau ou de vin versés dans un tube AB de quelques mètres.

Pesanteur et équilibre des fluides de densités différentes.

Quand on met dans un même vase des liquides de densités différentes, on sait qu'ils se rangent les uns au dessus des autres, dans l'ordre de leur densité, pourvu qu'ils n'aient point d'affinité les uns pour les autres, et tels sont l'eau, le mercure, l'huile, etc.

Deux liquides de cette nature sont en équilibre dans un siphon renversé, lorsque leurs hauteurs sont en raison inverse de leur densité. Ainsi donc, si l'on met du mercure dans une des branches, et que l'on verse de l'eau dans l'autre, on trouvera que pour faire élever le mercure d'un centimètre au-dessus de son niveau, dans la branche AB (Fig. 71), l'eau devra s'élever de treize centimètres et demi dans la branche BC. Or, le mercure est justement treize fois et demi aussi pesant que l'eau.

Les gaz sont soumis aux mêmes lois de l'équilibre que les liquides; mais ils ont d'autres propriétés qui dépendent de leur élasticité; nous n'allons examiner ici que ce qui est relatif à la pression et la pesanteur. Il n'y a pas deux siècles que l'on croyait encore à la légèreté de l'air, et que l'on expliquait l'ascension de l'eau dans les corps de pompes par l'*horreur du vide*, lorsqu'une circonstance qui se présenta aux fontainiers de Côme de Médicis, grand-duc de Toscane, vint attirer l'attention des philosophes. Ces fontainiers voulaient élever l'eau à environ soixante pieds; mais quelques efforts qu'ils fissent pour donner à leurs pistons toute la justesse imaginable, ils ne purent jamais parvenir à faire monter l'eau à plus de trente-deux pieds environ. Ce fut *Toricelli* qui montra évidemment que cette élévation, dans les corps de pompe n'était due qu'à la

pression du poids de l'air. A cet effet il prit un tube de verre de trois à quatre pieds de long, hermétiquement fermé à l'une de ses extrémités (Fig. 72); il le remplit de mercure, plaça le doigt sur l'extrémité ouverte et le renversa en plongeant cette même extrémité dans un bain de mercure : il observa alors que le mercure, après avoir un peu oscillé, se soutint à vingt-huit pouces, comme on le voit (Fig. 72). En comparant la densité des colonnes, on verra, comme le fit Toricelli, qu'elles sont en raison inverse de leur hauteur, On ne peut donc pas se dispenser d'admettre que c'est la même cause qui agit dans les deux cas, et que cet effet n'est rien autre chose qu'un équilibre. Or, quelle est la puissance qui peut équilibrer ces colonnes suspendues, si ce n'est l'air atmosphérique qui presse par son poids sur les réservoirs ? Telle est la conclusion que tirèrent tous les physiciens. Pascal ajoute encore aux preuves de Toricelli par ce raisonnement : « Si l'air est « la cause de ce phénomène, c'est parce qu'il est « pesant et fluide; sa pression doit donc se faire « comme celle des liqueurs; et les colonnes des li- « queurs avec lesquelles on le mettra en équilibre « seront toujours plus ou moins longues, selon « qu'elles seront plus ou moins denses.» Il suit de là que les colonnes d'air pèseront d'autant plus qu'elles seront plus longues, et par conséquent au pied des montagnes, leur poids sera plus grand qu'à la cime. Pascal pria son beau-père *Perrier*, de profiter de la hauteur du *Puy-de-Dôme*, près de Clermont, pour répéter la même expérience. Celui-ci trouva en effet qu'à mesure qu'il s'élevait sur cette montagne, le mercure descendait, et que son abaissement était d'environ trois pouces une ligne quand on était au sommet. Telle est l'origine de l'instrument connu sous le nom de baromètre, auquel on a

donné un grand nombre de formes diverses , et que tout le monde connaît.

Le vide qui est au-dessus de la colonne de mercure s'appelle *le vide barométrique*, ou *la chambre barométrique*, ou encore *le vide de Toricelli*, etc.; la colonne de mercure s'appelle *la colonne barométrique*.

Lorsqu'on veut construire un bon baromètre, il importe que le mercure soit bien bouilli , afin qu'il soit purgé d'air et de vapeurs; ce à quoi on parvient en faisant bouillir le mercure dans le tube même. A cet effet , on commence par verser de ce liquide dans le tube , à peu près jusqu'au tiers de sa longueur , puis l'on promène le tube sur des charbons de manière à porter peu à peu le mercure à l'ébullition. On voit d'abord un infinité de petites bulles adhérentes aux parois intérieures du tube , qui s'échappent sous la forme de fluide élastique. Ces bulles ne sont autre chose que de l'eau qui se trouvait en très petite quantité, mais qui, par l'action de la chaleur, se trouvant convertie en fluide élastique, occupe un volume 1700 fois plus grand (ce volume peut même être 3000 fois plus grand si la chaleur est assez intense); mais comme cette vapeur ou fluide élastique est beaucoup plus légère que le mercure , elle ne peut rester dans la partie inférieure du tube; elle se dégage donc sous la forme de bulles qui augmentent de volume à mesure qu'elles arrivent à la partie supérieure.

Lorsqu'on a fait bouillir la première quantité de mercure , on attend qu'elle soit bien refroidie , afin que, par une nouvelle addition de ce métal , le tube ne se brise pas; ensuite on verse une nouvelle quantité de mercure qui a été préalablement chauffé; on fait bouillir de nouveau dans toute la longueur de cette nouvelle colonne, et on continue ainsi à

ajouter de nouvelles quantités de mercure que l'on fait bouillir comme précédemment jusqu'à ce que le tube soit rempli; alors le baromètre est terminé. Pour vérifier si le baromètre est bien purgé d'air, il faut, après l'opération du retournement, incliner le tube vivement pour que le mercure aille frapper le sommet; si le coup est sec, c'est une preuve que le vide est bien fait; dans le cas contraire, on doit recommencer l'opération.

Le baromètre ordinaire ou à siphon (Fig. 73), est porté sur une planche; l'échelle qui marque la hauteur est placée dans le haut et porte un curseur avec lequel on indique le niveau; le zéro de la division correspond au niveau du mercure de la plus courte branche. Comme ce niveau ne reste pas toujours le même quand le baromètre change, il en résulte des erreurs d'autant plus grandes que le diamètre de la courte branche est plus petit.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Fortin a imaginé de rendre le niveau fixe en donnant à la cuvette un fond mobile (Fig. 74), que l'on peut faire monter ou descendre en tournant la vis V dans un sens ou dans l'autre. Il y a une pointe d'ivoire qui marque le niveau. Comme elle est réfléchie par le mercure, il est toujours facile de ramener exactement le niveau jusqu'à ce que le liquide affleure cette pointe.

Un autre baromètre plus simple et plus commode que ceux que nous venons de décrire est celui de M. Gay-Lussac. Nous allons citer ici les paroles de ce grand maître: « Pour mieux faire concevoir ce qui caractérise cet instrument, dit ce physicien, je le supposerai dépouillé de sa monture, qu'on peut varier d'ailleurs d'une infinité de manières. La figure 75 représente le tube barométrique dans sa situation propre à l'observation; Nz sont les deux

niveaux du mercure; la grande branche AB est d'un égal diamètre jusqu'en F. En ce point, le tube AF est soudé avec un autre tube FBC, fort, en verre, dont le diamètre intérieur doit être d'un à deux millimètres. La petite branche CD du baromètre doit avoir le même diamètre que la partie NF de la grande. Elle est fermée en D; mais en E, à la distance de deux à trois centimètres de D, se trouve un petit trou capillaire par lequel le mercure ne peut point s'échapper, à moins d'une pression très grande, et qui néanmoins permet à l'air d'entrer dans la cuvette et d'en sortir librement.

» La figure 76 représente le baromètre renversé; le mercure occupe la partie CBFA du tube, et l'excédent est logé en D. Il convient que cet excédent soit nul ou au moins très petit. On fait sortir aisément le mercure en tenant la branche CD horizontalement, le trou E en dessous; le mercure étant au-dessus du trou, on dilate l'air en chauffant la branche CD, et le mercure est alors expulsé. Si, au contraire, on veut faire rentrer du mercure dans le baromètre, on le plonge, dans la situation où le représente la figure 75, dans un bain de mercure jusqu'au-dessus du trou E, et on incline le tube. L'air étant alors dilaté dans la branche CD, le mercure y rentrera, pourvu que la perte de l'élasticité de l'air soit plus grande que la longueur de la colonne dont le mercure s'abaisserait dans un tube dont le diamètre serait égal à celui du trou. J'ai supposé ici que le baromètre n'avait d'autre ouverture que le trou capillaire E; mais il est bien plus facile de régler le baromètre pendant qu'il est ouvert en D.

» La figure 77 représente le baromètre dans la même position que la figure 76, avec cette différence seulement que la branche BFA est supposée vide de mercure depuis B jusqu'en G, ce qui peut

arriver en imprimant au baromètre des secousses violentes. Dans ce cas, l'instrument ne pourrait plus servir si le tube CBGF avait un diamètre aussi grand que le tube AF, parce qu'en renversant l'instrument, l'air contenu en BG monterait nécessairement dans sa partie supérieure; mais si le tube CBGF n'a au plus que deux millimètres, comme je l'ai indiqué, la colonne GF du mercure ne pourra pas être divisée par l'air, et celui-ci sera expulsé par la chute du mercure lorsqu'on retournera le baromètre. Il arrivera même quelquefois que la colonne GA restera suspendue, quoique plus grande que la pression barométrique; mais en donnant une légère secousse à l'instrument, de haut en bas, la colonne tombera aussitôt, et l'air contenu en BG sera chassé.

» Il y a donc deux choses qui caractérisent le nouveau baromètre: 1° le petit trou capillaire E, qui laisse une libre circulation à l'air, et empêche le mercure de sortir; 2° le tube CBF, d'un diamètre assez étroit pour que l'air ne puisse pas diviser la colonne de mercure, comme cela a lieu dans l'ingénieux baromètre conique d'Amontons.

» En construisant ce baromètre, il faut que l'artiste ait l'attention de ne point porter d'huile dans la branche BCD, soit en le fermant en D, soit en faisant le petit trou E. J'ai déjà dit que c'est l'huile ou tout autre corps gras qui est la cause de la poudre noire ou de la crasse qui se forme dans les baromètres, quand le mercure est d'ailleurs bien pur, et on ne saurait l'exclure avec trop de soin. J'ai fait faire plus de 500 lieues à mon baromètre; M. Descostils, dans un voyage en Italie, lui en a fait faire plus de douze cents, et je puis affirmer que le mercure était aussi net que le premier jour, malgré les secousses continuelles auxquelles il a été exposé dans une chaise de poste. . . .

» On voit aisément pourquoi l'axe du tube AF n'est pas dans le prolongement de celui du tube FB; c'est afin que le centre de gravité de l'instrument soit sur cet axe lorsque l'instrument sera librement suspendu en A, Fig. 78.

» Le transport de ce baromètre est très facile, et il ne pourra se déranger si l'on a l'attention de le tenir renversé, comme l'indique la Fig. 76, ou au moins incliné sous un angle de quinze à trente degrés. J'ai annoncé qu'il ne fallait pas plus d'une minute pour l'observer; et, en effet, il suffit de le renverser pour qu'il se prête immédiatement à l'observation.

» On peut le monter de beaucoup de manières : par exemple, le mettre dans une canne fendue dans toute sa longueur, et qui s'ouvre à charnière, Fig. 78; mais je préfère l'enfermer dans un tube creux de métal, fendu dans une partie de sa longueur, et recouvert par un autre tube qui peut glisser longitudinalement, ou tourner à léger frottement sur le premier. Si l'on adopte cette dernière construction, le tube extérieur doit aussi être fendu pour laisser voir la colonne de mercure ou la cacher, suivant que les fentes des deux tubes seront ou ne seront pas appliquées l'une sur l'autre.

» On peut encore, si l'on veut avoir un instrument peu dispendieux, tracer la division sur le verre même, et enfermer le tube barométrique dans un tube de fer-blanc qui s'ouvre à ses deux extrémités. Il n'est pas alors nécessaire de se servir d'un vernier, parce que les divisions étant près du mercure, on évite facilement l'effet de la parallaxe, et on peut, avec un peu d'habitude, évaluer avec l'œil un huitième et même un dixième de millimètre, pourvu que l'on observe l'origine de la courbe du mercure. Enfin, si l'on voulait se con-

server la facilité de nettoyer le tube CO, dans la crainte que le mercure ne se ternît à la longue, on pourrait se contenter de le fermer en O avec une peau ou avec un liège.

» La manière de se servir du nouveau baromètre ne présente aucune difficulté : on observe la hauteur de la colonne inférieure et celle de la colonne supérieure, et on les retranche l'une de l'autre. Si les deux branches sont d'un égal diamètre, il suffira d'observer la hauteur de la colonne supérieure et de doubler les variations apparentes pour avoir les variations réelles. Lors même que les deux branches n'auraient pas un égal diamètre, on pourrait encore se contenter d'une seule observation, pourvu que l'on connût les vraies différences de niveau, de centimètre en centimètre, parce que, dans l'intervalle, on pourrait regarder, sans erreur sensible, les deux branches comme ayant le même diamètre. Cet avantage commun à tous les baromètres à siphon, est très précieux pour les voyages géodésiques, car on fait d'autant plus d'observations qu'elles sont plus faciles à faire ».

M. Buntén a fait un léger changement au baromètre de M. Gay-Lussac, en plaçant dans le petit tube BF un petit cône de verre renversé, destiné à empêcher l'air qui pourrait s'introduire dans cette branche de monter dans le vide barométrique.

Plus récemment encore, M. Dourches, aussi modeste qu'ingénieur, a fait au baromètre de M. Gay-Lussac un changement bien préférable, puisqu'il met l'air dans l'impossibilité de s'introduire dans la grande branche. Pour cela, il continue la branche FB jusque dans l'intérieur de la branche CO, en sorte que, quand l'instrument est dans sa position ordinaire, cette petite branche est recouverte par le mercure, et que, quand l'instrument est renversé,

elle y plonge encore , et empêche , par conséquent , toute espèce d'introduction de l'air.

Du Siphon.

Un siphon est un tube recourbé ABC de verre ou de métal , Fig. 79, et dont une branche AB est plus courte que l'autre BC. Pour en faire usage , on place l'extrémité A de la plus courte branche dans un liquide que l'on veut transvaser , puis on applique la bouche en C , pour en extraire tout l'air. Aussitôt que l'on a commencé à faire le vide , l'eau s'élève , parce que la pression de l'air , dans l'intérieur du siphon , ne fait plus équilibre au poids de l'atmosphère. Alors l'écoulement commence et ne finit que quand le bout du siphon ne plonge plus dans le liquide ; il est facile de concevoir comment le phénomène doit être dû à la pression de l'atmosphère. Supposons , en effet , que GF , Fig. 79 , soient les confins de l'atmosphère , il est clair que tous les points de la surface de la liqueur sont également pressés par la colonne d'air ; si maintenant nous supprimons cette pression en quelque point , la liqueur doit s'écouler par cet endroit-là. Si les deux branches du siphon avaient la même longueur BA , BD , l'écoulement ne pourrait plus avoir lieu , car la colonne d'air DC , qui résisterait en D , étant aussi haute que celle qui presse en A , lui ferait équilibre comme les deux colonnes de liquide AB , BD ; mais si l'une des branches est plus longue que l'autre , quoique la colonne d'air correspondante GC soit plus longue que celle qui presse dans le vase , l'écoulement a lieu et doit avoir lieu ; car , considérons la colonne d'air GC comme divisée en deux parties , dont l'une , GC , serait capable d'arrêter l'écoulement , si la branche BC finissait en D , en

faisant équilibre à la colonne d'air FA; il n'y a donc plus en C qu'une colonne d'air DC pour s'opposer à la colonne DC de liquide qui a la même longueur, mais qui est beaucoup plus pesante. La portion DC devra donc s'écouler; mais pendant qu'elle s'échappera, d'autre liquide s'élèvera dans le siphon pour s'écouler à son tour, et être remplacé encore par d'autre qui éprouve le même effet. Il n'est pas nécessaire de dire que, comme ce phénomène est dû au poids de l'air, la courte branche d'un siphon ne peut pas avoir plus de 32 pieds, et même, dans la pratique, on ne va pas jusque là.

Pesanteur et équilibre des solides plongés dans les liquides.

Nous avons dit que les molécules d'un liquide sont comprimées de toutes parts par les autres molécules du même fluide, et que la pression était d'autant plus grande que le liquide était plus fortement pressé, que la colonne était plus haute. Si nous supposons un corps solide plongé dans ce liquide, en écartant les molécules, et se mettant à la place d'un plus ou moins grand nombre de celles-ci, il est clair que ce corps sera comprimé comme l'étaient les molécules dont il occupe la place. Nous éprouvons la même chose pour l'air qui nous environne; nous sommes de plus en plus comprimés, à mesure que nous descendons à de grandes profondeurs, et de moins en moins si nous nous élevons sur le sommet d'une montagne. La pression qu'éprouve un homme de moyenne taille est d'environ trente mille livres dans les circonstances ordinaires.

Comme chaque molécule d'un liquide est en équilibre, il s'ensuit que si le corps solide n'était pas plus pesant que le liquide, ce corps s'y tiendrait en

équilibre absolument de la même manière que si un volume égal au sien du liquide s'était solidifié; mais si le corps est plus pesant que le liquide, qu'en résulte-t-il? Alors ce corps *perd une portion seulement de son poids, mais une portion égale* à celui du volume de liquide qu'il déplace. L, Fig. 80, est un petit cylindre solide de cuivre suspendu à un crin, sous le plateau d'une balance, et capable de remplir exactement le cylindre creux M, qui se trouve au-dessus de lui. On équilibre le poids de ces deux corps en mettant dans l'autre plateau des poids suffisants, puis on remplit d'eau le vase ABCD, et on y plonge le cylindre L : alors les poids N l'emportent, et pour rétablir l'équilibre, il suffit de mettre dans le cylindre M un volume d'eau égal à celui du corps, et c'est ce qu'on appelle le principe d'Archimède. En effet, en remplissant le petit vase M, l'équilibre est rétabli parfaitement; il faut en conclure que le corps perd exactement une portion de son poids égal à celui du volume d'eau déplacée, et que la portion du poids qui lui reste n'est que la différence de pesanteur. C'est pour cela qu'il est si facile d'enlever un homme dans l'eau; car sa différence de densité est très peu de chose. Une autre conséquence, c'est qu'un corps qui tombe dans un liquide, et même dans l'atmosphère, ne tombe jamais avec toute l'intensité de sa pesanteur absolue, mais seulement avec l'excès de sa densité. Concluons aussi : 1° qu'à quantité égale de matière ou à poids égaux, plus les corps ont de volume, plus ils perdent de leur poids par l'immersion, puisque le volume d'eau déplacée est plus grand; 2° que plus la liqueur dans laquelle plonge le corps a de densité, plus ce corps perd de son poids.

Corps flottants.

Si un corps est moins pesant qu'un pareil volume de liquide, il surnage en partie, et la partie plongée déplace un volume d'eau dont le poids est égal à celui de tout le corps. Pour le prouver, on prend un vase ABCD, Fig. 81, à la partie inférieure duquel on adapte un tube qui se recourbe et remonte parallèlement aux parois du vase, et l'on adapte un robinet, soit au tube, soit au vase lui-même; on verse de l'eau dans le grand vase; à l'instant le niveau s'établit dans le petit à la même hauteur; on marque ce niveau par un petit index de papier que l'on colle, ou de fil que l'on enroule autour, puis on jette dans le grand vase une boule de bois ou de cire qui surnagera en partie. La portion qui sera plongée fera élever le niveau de l'eau, autant que si l'on avait versé une nouvelle quantité de liquide égal au volume de la partie plongée. Si l'on retire de l'eau par le robinet jusqu'à ce que le niveau soit le même qu'avant l'immersion du corps, il est clair que le volume que l'on aura enlevé sera égal à celui de la partie plongée. Qu'on pèse ce liquide avec la boule, et l'on trouvera qu'ils se font réciproquement équilibre, d'où résulte la vérité du principe que nous venons d'émettre. Il en est pour tous les autres corps, plongés en partie, comme pour la boule dont nous venons de parler; ainsi, un bateau qui flotte sur la rivière, déplace un volume d'eau dont le poids est égal au sien. Nous avons dit aussi que si le liquide était plus dense, la partie plongée serait moins considérable; d'où il suit qu'un bateau qui passerait d'une rivière dans la mer, s'enfoncerait beaucoup moins dans les flots de celle-ci. C'est sur ce principe qu'est fondé un instrument d'un

grand usage dans les arts , et que l'on appelle aréomètre (1).

Des Aréomètres.

Les aréomètres sont des instruments destinés à faire connaître les densités des liquides dans lesquels ils s'enfoncent.

L'aréomètre consiste en une boule de verre mince ou un cylindre , soufflée à la lampe et soudée à un tube étroit (Fig. 82). Pour que cet instrument se tienne verticalement au milieu des liquides , on place son centre de gravité le plus bas possible , et , à cet effet , on adapte au-dessous de la boule ou du cylindre un petit réservoir dans lequel on met du mercure ou de la grenaille de plomb , mais en quantité non suffisante pour faire enfoncer l'instrument. Si nous mettons cet instrument dans un liquide , il s'y enfoncera d'autant plus profondément que la liqueur sera plus légère , et réciproquement d'autant moins qu'elle sera plus pesante. En sorte que si nous avons donné à l'aréomètre un poids tel , que sa tige s'enfonce jusqu'en E dans l'eau , cette tige s'enfoncera plus profondément dans les liqueurs plus légères , et moins dans celles qui seront plus denses. Par ce moyen , on pourra savoir si une liqueur est plus ou moins lourde qu'une autre à laquelle on la compare ; mais on ne saura pas de combien ; car il

(1) Et non pas *aéromètre* , comme disent quelques personnes ; *aéromètre* indique une mesure adaptée à l'air , tandis qu'il n'en est pas ainsi , et que cet instrument est destiné à donner la densité ou , ce qui revient au même , la légèreté des liquides : sa racine est le mot grec *Αρστος* , léger , poreux , dense.

faudrait pour cela connaître le rapport de la tige AC aux boules B et S; et de plus il faudrait que la tige fût parfaitement cylindrique, ce qui n'a presque jamais lieu. Le meilleur moyen est d'opérer sur des volumes toujours égaux; mais on peut aussi employer, avec un grand degré d'exactitude, les aréomètres à volume variable. Parlons d'abord de l'instrument à volume constant, qui a reçu le nom d'*aréomètre de Fahrenheit*.

L'aréomètre de Fahrenheit (Fig. 83) se compose comme l'autre, d'une boule surmontée d'une tige, mais qui est alors très étroite, et qui porte à sa partie supérieure un petit plateau DE, destiné à recevoir de petits poids. L'instrument est lesté avec du mercure que l'on met dans la petite boule S, puis on fait sur la tige un petit trait d'émail, et l'instrument est construit.

Pour se servir de cet aréomètre, on commence par le peser et prendre exactement son poids, que l'on écrit sur l'instrument; ensuite on le plonge dans l'eau distillée et on le charge de poids jusqu'à ce qu'il s'y soit enfoncé jusqu'au trait d'émail *a*. Le poids de l'eau déplacée est représenté par celui de l'aréomètre, joint aux poids additionnels que l'on a mis dans le petit bassin DE. En faisant la même opération sur d'autres liquides, on aura, avec la même exactitude, le poids du volume déplacé par l'aréomètre. Les volumes des deux liquides étant parfaitement égaux, la différence de leurs poids donnera celle de la pesanteur spécifique ou le rapport de leur densité. Pour déterminer ce rapport, on dira : *La pesanteur spécifique de cette liqueur est à celle de l'eau comme le poids du volume de cette liqueur est au poids du volume d'eau*; il en serait de même pour tous les autres liquides que l'on voudrait comparer à l'eau.

L'aréomètre de Fahrenheit est encore employé pour déterminer les densités des corps solides; mais alors sa forme est un peu modifiée, et il prend indifféremment les noms d'aréomètre de *Nicholson*, ou d'aréomètre-balance de *Charles*. Il est représenté Fig. 83 et 84. Cet instrument se compose, de même que celui de Fahrenheit, d'une boule ou plutôt d'un cylindre surmonté d'une tige, à la partie supérieure de laquelle est adapté un plateau DE. Cet instrument est en laiton ou en fer-blanc, et porte à sa partie inférieure un petit panier ou un petit seau d'argent, destiné à recevoir la substance dont on cherche la densité. Lorsque les corps sont plus denses que le liquide dans lequel on plonge l'aréomètre, ils exercent une pression de haut en bas, et tendent à tomber. Dans ce cas, le panier est disposé comme on le voit Fig. 83; il reçoit la pression, et empêche le corps de tomber. Quand, au contraire, les corps sur lesquels on expérimente sont moins denses que le liquide dans lequel s'enfonce l'instrument, on dispose le panier, comme en la Fig. 84, afin qu'il reçoive la pression que le corps exerce de bas en haut.

Lorsqu'on veut, à l'aide de cet instrument, procéder à la recherche des densités des corps solides, on commence par trouver le *poids additionnel* qui, étant mis sur le plateau DE, fasse enfoncer l'instrument dans l'eau distillée jusqu'au trait *a* que porte la tige. Supposons que l'on opère à la température 0° , et que le poids additionnel soit de vingt grammes, puis cherchons la densité d'un corps quelconque, celle du diamant, par exemple. On le met sur le plateau DE, et on ajoute les poids nécessaires pour produire l'affleurement; supposons que dix-huit grammes soient les poids qui satisfassent à cette condition; il est évident que ces poids, plus le dia-

mant, équivalent à vingt grammes, puisque le niveau de l'eau correspond au trait *a* ; d'où l'on voit que le diamant pèse 20 grammes moins 18 gr. 8, ou 1 gr. 2 dans l'air. Cette première opération faite, on enlève le diamant, et on le place dans le seau ou panier d'argent, et on trouve qu'il faut ajouter 0 gr. 34 aux 18 gr. 8 qui sont dans le plateau DE, pour que l'affleurement ait lieu ; ces 0 gr. 34 équivalent au poids que le diamant perd dans l'eau, ou bien au poids d'un volume de ce liquide égal au sien, et comme nous savons que les densités sont entre elles comme les poids, il en résulte que la densité du diamant est représentée par $\frac{100}{34}$ ou 3,53. En opérant comme on vient de le faire, on trouvera de la même manière les densités des autres corps solides.

Quand les corps sont plus légers que l'eau, il suffit de retourner le seau d'argent comme l'indique la fig. 84, et de procéder absolument de la même manière ; seulement il faut, dans les deux cas, lorsque l'eau dans laquelle on plonge l'aréomètre n'est pas à 0, faire les corrections nécessaires.

Aréomètre à volume variable.

Cet aréomètre est d'un usage beaucoup plus fréquent que celui dont nous venons de parler, et d'un emploi presque exclusif dans les arts, parce qu'il est moins fragile que le précédent, et que pour l'observer, il suffit de le plonger dans un liquide, sans avoir recours à des opérations longues et minutieuses : sa graduation repose sur l'enfoncement plus ou moins considérable qu'il éprouve dans des liquides de densités différentes. En effet, c'est en prenant, comme point de départ, l'enfoncement qu'éprouve l'aréomètre dans de l'eau distillée, parfaite-

ment pure, et d'un autre côté comme limite, le point auquel il s'enfonce dans un liquide beaucoup plus dense ou plus léger que l'eau, et en divisant cet intervalle en petits espaces que l'on nomme degrés, lesquels sont écrits sur une bande de papier collée dans l'intérieur de la tige.

Les degrés compris entre l'eau et les liquides légers servent à évaluer les degrés de densité des corps moins pesants que l'eau: l'inverse a lieu pour l'autre extrémité de l'échelle; de là les pèse-liqueurs, les pèse-acides et les pèse-sels.

M. Gay-Lussac a fait connaître un aréomètre qui, plongé dans un liquide alcoolique, indique à l'instant la densité de ce liquide, et sa richesse en alcool. Il l'a désigné par le nom d'*alcohomètre*; nous renvoyons, pour les principes sur lesquels il repose, à *l'instruction pour l'usage de l'alcohomètre centésimal*, que M. Gay-Lussac a publié en 1824 à ce sujet.

Densité des solides.

Nous croyons devoir donner de nouveaux développements sur la densité des corps solides; cette densité est, comme on le sait, le poids que pèse un corps sous un volume connu et déterminé; par exemple un centimètre cube, un décimètre cube, etc. Comme il n'est pas toujours facile de donner aux corps des formes régulières, et des volumes égaux pour en comparer directement le poids et en connaître par conséquent la densité, on a cherché le moyen de se rendre indépendant de la forme et du volume; pour cela on les pèse *hydrostatiquement*, c'est-à-dire dans l'air et dans l'eau. Nous n'avons pas besoin de dire que l'eau doit être parfaitement pure, et que son volume étant variable à différentes températures, on ramène les différentes pesées à une

égale température, qui est ordinairement celle de 4° centigrades.

L'on sait, d'après ce que nous avons dit précédemment, qu'un corps plongé dans un liquide en déplace un volume parfaitement égal au sien, en perdant une portion de son poids justement égal au poids du volume liquide déplacé, et qu'ainsi un corps pesé d'abord dans l'air, ensuite plongé dans le liquide, donne, par la différence de la première pesée à la seconde, le poids d'un volume de liquide égal au sien. Ces deux poids comparés donnent le rapport de densité du liquide et du corps solide. Si c'est l'eau que l'on a prise dans cette expérience, et que l'on prenne sa densité comme l'unité des pesanteurs spécifiques, on aura celle du corps en faisant la proportion suivante: *le poids du volume d'eau déplacé par le corps est au poids du corps même comme un est à un quatrième terme qui représente la densité de ce corps.*

De ce qui précède il résulte : 1° que quand deux corps ont des volumes égaux, leurs densités sont comme leurs masses.

2° Que quand deux corps perdent des poids égaux dans le même liquide, ils ont des volumes égaux.

3° Les pesanteurs spécifiques des corps qui sont du même poids, sont en raison réciproque de leurs volumes.

4° La pesanteur spécifique d'un solide qui surnage un liquide plus pesant, est à celle de la densité de ce liquide, comme le volume de la partie plongée est au volume du corps entier.

CHAPITRE V.

PHÉNOMÈNES CAPILLAIRES.

Quand on fait reposer sur la surface d'un liquide un disque de verre, de métal ou de toute autre substance, on trouve qu'il y adhère avec une certaine force qui est toujours la même, pourvu que les dimensions soient égales. Pour s'en assurer, on équilibre le disque après l'avoir suspendu au bras d'une balance, et on le fait toucher à la surface du liquide : alors il faut ajouter de nouveaux poids pour pouvoir le détacher. On ne peut attribuer cette adhérence à la pression de l'air, puisqu'elle a lieu également dans le vide, il faut donc la regarder comme un résultat de l'affinité des molécules du liquide pour le solide ; et comme on trouve, quand le liquide peut mouiller le disque, que le poids à ajouter pour vaincre cette adhésion est plus considérable que celui de la petite couche qui y demeure attachée après la séparation, on doit admettre que l'effet est dû en partie à l'affinité des particules du liquide les unes pour les autres.

On observe des phénomènes produits par la même cause, quoique différents en apparence, quand on plonge dans l'eau, l'alcool, etc., des tubes d'un petit diamètre, ou des plaques soit de verre soit d'une autre matière, que l'on tient dans une situation verticale et très rapprochées l'une de l'autre,

ou bien encore quand on plonge un morceau de sucre dans du café, ou quand on répand de l'eau autour d'un tas de cendres, de sable, etc. ; c'est-à-dire que l'on voit le liquide s'élever au-dessus de son niveau naturel et s'y maintenir. En examinant la forme que prend la surface du liquide dans les petits tubes, on s'aperçoit que c'est une courbure dont la cavité est tournée vers le haut, et que l'on appelle *ménisque concave*; mais quand on vient à plonger ces tubes ou ces plaques de verre dans un liquide qui ne soit pas de nature à les mouiller, comme serait le mercure pour les corps humides, ou de l'eau pour des corps graissés, on remarque que le liquide, au lieu de s'y élever, s'abaisse dans les tubes au-dessous du niveau du liquide contenu dans le bassin, en donnant lieu à une surface courbe et convexe en dehors, à laquelle on a donné le nom de *ménisque convexe*. L'élévation ou l'abaissement sont d'autant plus considérables, que le diamètre du tube est plus étroit. Ce sont-là les phénomènes que les physiciens appellent *capillaires*.

Les phénomènes capillaires, ainsi nommés pour exprimer que les tubes qui servent à les produire sont d'un diamètre dont la finesse approche de celle d'un *cheveu*, ne dépendent pas de la pression atmosphérique, puisqu'ils se réalisent tout aussi bien dans le vide qu'en plein air; mais de l'affinité du liquide pour le tube, et de l'attraction des molécules du liquide les unes pour les autres. Cette affinité s'exerce à des distances infiniment petites entre le tube et le liquide, et entre les molécules liquides elles-mêmes; car si l'on fait varier l'épaisseur du verre sans changer le diamètre, l'élévation reste la même qu'auparavant; ce qui montre qu'au-delà d'une certaine distance, si petite qu'elle soit, sans doute inappréciable pour nous, toutes les couche-

que l'on peut ajouter à la matière du tube n'ont aucun résultat appréciable. Une des conséquences de ce fait, c'est que la nature de la matière du tube n'influe en rien, et que la hauteur est, dans tous les cas, la même que si le liquide s'élevait dans un tube de même diamètre, formé par le liquide lui-même.

La concavité du ménisque accompagne toujours l'élevation de la colonne du liquide, au contraire l'abaissement correspond constamment à un ménisque convexe; et du rapprochement de ces deux faits, M. de Laplace a fait sortir le secret du phénomène. Eu effet, quand un liquide en repos prend une surface horizontale, on doit admettre qu'indépendamment de la gravitation, il existe une autre force qui porte les molécules les unes vers les autres, et le calcul montre que si la surface devient convexe, l'attraction propre du fluide pour lui-même, augmente, et qu'elle diminue au contraire si la surface est concave. Le mercure et l'eau en offrent deux exemples. M. de Laplace est parvenu à ces conséquences mathématiques, savoir que : pour une colonne circulaire, dans un tube très fin, la variation de la force attractive est presque exactement réciproque au diamètre intérieur du tube, et que la hauteur est réduite à moitié si le tube se change en deux plans parallèles, dont l'intervalle soit le même que son diamètre intérieur. Examinons maintenant, d'après ces données mathématiques, la théorie du phénomène, et commençons par le ménisque concave (fig. 85) : supposons un canal infiniment étroit, qui traverse le tube, se replie en dessous et aboutisse au point H, tandis que son autre extrémité se termine au point S, le plus bas de la courbure du ménisque. L'extrémité H de ce petit tube imaginaire est pressé en H par

une force égale à l'action d'un liquide terminé par une surface plane, tandis qu'en S il est soumis à l'action d'une surface concave, et, par conséquent, d'après ce que nous avons dit, il est soumis à deux forces inégales. L'équilibre ne peut donc pas exister, et le liquide doit s'élever; ce qu'il fera en effet jusqu'à ce que le poids de la petite colonne compense la différence des deux forces. Ces actions agissent en raison inverse du diamètre du tube, et la hauteur de la petite colonne suivra aussi le même rapport; ce qui est vérifié par l'observation. Quand l'extrémité de la colonne est convexe, l'action qu'elle exerce sur la surface propre est plus grande, dans le rapport inverse du diamètre du tube, que celle du plan. Dans ce cas, le petit canal curviligne, que nous supposons dans l'intérieur du liquide (fig. 85), sera pressé plus fortement du côté de la surface convexe que du côté de la surface plane, et pour que l'équilibre ait lieu, le liquide devra s'abaisser du côté où l'action est la plus forte, jusqu'à ce que la différence de niveau compense exactement.

Cette théorie qui repose entièrement sur la forme du ménisque, rend raison de tous les phénomènes capillaires sans exception, tels que l'ascension de l'eau dans les cylindres concentriques, les tubes coniques; ou entre des plans, la force qui pousse les uns vers les autres, deux corps flottants qui se mouillent; comme par exemple, deux balles de liège, ou deux corps flottants qui ne se mouillent pas, tels que deux balles de liège un peu carbonnées, et qui porte, au contraire, à s'éloigner deux boules semblables, dont l'une se mouille et l'autre ne se mouille pas; elle explique aussi la forme sphérique des gouttes de pluie, forme qui ne dépend pas de la pression de l'air, puisqu'elle est la même dans le vide.

L'attraction, cause générale des phénomènes capillaires, se manifeste aussi entre les molécules des fluides, et M. Lehot a montré qu'elle influe sur le mouvement des liquides, dans les vases qui les renferment. Lorsqu'un liquide oscille dans un siphon renversé, il devrait avoir un mouvement analogue à celui du pendule, c'est-à-dire que les oscillations devraient avoir la même étendue, et se continuer indéfiniment; mais comme il n'en est pas ainsi, il faut nécessairement qu'il existe une résistance qui gêne le mouvement, et cette résistance naît du contact du liquide avec le tube, et de là se communique de proche en proche. Si donc on introduit, dans un même siphon, des colonnes de liquides d'égales longueurs et de différentes natures, les oscillations diminueront d'amplitude, d'une manière inégale, parce que l'attraction du tube pour le liquide et du liquide lui-même variera; et l'observation vient encore confirmer cette hypothèse. Pour faire ces expériences, M. Lehot incline d'abord le siphon, applique le pouce sur l'extrémité de l'une des branches, et remet l'appareil dans la position verticale. Alors la pression atmosphérique maintient la différence de niveau, différence que l'on peut mesurer à loisir avant de faire osciller. On conçoit aisément que l'attraction des liquides pour eux-mêmes, et pour la matière des tubes par lesquels ils s'écoulent, doit influencer sur la rapidité ou la quantité de l'écoulement; mais nous n'entrerons pas ici dans de plus grands détails à ce sujet.

CHAPITRE VI.

DE LA DYNAMIQUE.

LA dynamique est cette partie de la mécanique, qui s'applique à la considération des mouvements que subissent les corps sous l'influence de certaines forces.

Nous nous sommes suffisamment étendus sur les différentes espèces de mouvements, dans un des chapitres consacrés aux propriétés générales des corps. Néanmoins, nous ne pouvons nous dispenser de développer les lois suivant lesquelles se comportent les différents corps en mouvement, et nous commencerons par exposer succinctement, les mouvements composés qui se font suivant une ligne droite ou suivant une courbe.

Mouvement composé rectiligne.

Ce mouvement a lieu toutes les fois que les forces agissent sur les corps, et conservent entre elles le même rapport.

Nous pouvons montrer, par une expérience, ce que nous venons d'énoncer. Soit en effet le corps M (fig. 86), soumis à deux forces, dont l'une ZM le ferait aller en B si elle agissait seule, l'autre $Z'M$ le ferait aller en A dans les mêmes circonstances; lorsqu'elles agissent simultanément, le corps décrit la

diagonale MC du parallélogramme $MACB$; mais si l'on faisait varier l'angle M , la diagonale varierait aussi; par exemple, si la force $Z'M$ restait dans la même direction MA , que ZM prît la direction MF , la diagonale serait MG ; si elle était MD , la diagonale serait ME . Cette diagonale, qui représente la vitesse du mobile, peut varier comme nous venons de le voir, avec l'ouverture de l'angle, sans que l'intensité des forces soit changée, et si l'angle devenait nul ou presque nul, la diagonale serait égale à la somme des deux forces.

Mouvement curviligne composé.

On pourrait dire que l'expression de mouvement curviligne, entraîne avec lui l'idée de composition, car tout mouvement de ce genre a lieu, lorsqu'un corps se mouvant en ligne droite, est dérangé de cette direction rectiligne par une force agissant continuellement, dans un sens différent du mouvement primitif. Pour rendre ceci plus clair, supposons que le mobile M (fig. 87), soit sollicité à la fois par deux puissances différentes MF , MG , que la puissance MF soit uniforme, que la puissance MG soit accélérée. Dans le premier instant; le corps parcourra la diagonale Ma ; dans le second instant, la diagonale ab ; dans le troisième B , C , D , etc. Chacune de ces diagonales, a une direction différente des autres; et si nous les prenions infiniment courtes, en supposant les instants très petits, elles donneraient lieu à la courbe $Mabcdef$. Tel est le mouvement de tous les corps projetés dans une direction différente, perpendiculaire à l'horizon. Par exemple, la pierre que l'on lance, le boulet que l'on tire.

Ce que nous venons de dire du mouvement com-

posé, donne l'explication d'un fait singulier qui se présente quelquefois sur mer, et que l'on peut imiter au moyen d'un petit chariot, portant une colonne dont le sommet est garni d'une pince qui s'ouvre à volonté. Quand on veut faire l'expérience, on choisit une surface très plane et très polie, pour rendre les frottements moins grands autant que possible, puis on met une balle dans la pince et un petit godet sur le chariot, dans une position telle, que quand l'appareil est en repos, la balle tombe dedans; ensuite, on fait mouvoir le chariot, et quand il a acquis une vitesse uniforme, on ouvre la pince au moyen d'un fil, et la balle tombe encore dans le godet, quoique naturellement elle doit rester en arrière. Pour bien comprendre ceci, supposons que M (fig. 87), soit la pince qui contient la balle; 6f l'espace parcouru pendant que la balle tombe de M en 6, la balle a un mouvement horizontal commun avec la colonne dont la vitesse est uniforme: lorsque la balle sera arrivée de M en 1, le point 1 de la colonne sera en a; lorsqu'elle sera tombée en 2, le point 2 sera en B; lorsqu'elle sera en 3, le point 3 sera en C, etc.; en sorte qu'à la fin de la chute, le point 6 où se trouve le godet et la balle seront arrivés en f, le godet par la droite 6f, la balle par la courbe Mab, etc.

Quantité de mouvement.

La quantité de mouvement d'un corps est l'expression du produit de sa masse par sa vitesse, en sorte qu'un même corps a plus de mouvement quand sa vitesse est plus grande, sa masse restant la même, ou quand la vitesse restant la même, sa masse est augmentée; ou, si l'on veut, quand deux corps ont des masses égales, celui qui a le plus de vitesse a le

plus de mouvement, et si deux corps ont des vitesses égales, celui qui a le plus de masse a le plus de mouvement.

Choc des corps non élastiques.

Ce que nous venons de dire de la quantité de mouvement nous facilitera l'intelligence de ce qui arrive quand un corps en repos est choqué par un autre corps. Dans ce cas, les choses se passent comme si le corps mobile acquérait une masse plus grande en perdant de sa vitesse, suivant le rapport des masses, c'est-à-dire que la vitesse se partage entre les deux corps, qu'ils se meuvent tous les deux dans la direction du corps choquant, et que la vitesse est l'autant moins grande que le corps choqué a plus de masse. Si les deux corps sont égaux en masse, la vitesse est réduite à moitié; si le corps choquant a le double de masse, la vitesse est diminuée d'un tiers, etc.

Si les deux corps qui doivent se choquer avaient des mouvements en sens opposés, on prévoit aisément ce qui doit se passer : le mouvement s'éteint dans l'un et dans l'autre, ou du moins dans l'un des deux; s'il en reste après le choc, les deux corps obéissent à l'impulsion du corps qui a la plus grande quantité de mouvement, et la quantité de leurs mouvements communs est égale à l'excès du plus grand sur le plus petit.

Corps élastiques.

Pour les corps élastiques, le mouvement suit la même loi; mais avec cette différence très grande qu'apporte l'élasticité qui donne aux molécules des

corps la propriété de reprendre leur position primitive, en réagissant avec une force égale à celle qui les a déplacés. Quand deux corps élastiques se choquent, le mouvement doit se partager comme si les corps ne jouissaient pas de cette faculté; mais comme au point de contact il s'exerce une pression sur les molécules dont la réaction doit être égale de part et d'autre, le mouvement du corps choqué est double. Nous allons éclaircir par des expériences le principe que nous venons d'énoncer.

Supposons deux boules mm' , Fig. 38, suspendues au point A par des fils Am , Am' , et un arc CBD portant des divisions : si les deux billes sont en ivoire et de masses égales, et qu'on en élève une m jusqu'à la division 6, en lui faisant décrire un arc, et qu'on la laisse redescendre librement par ce même arc, elle viendra choquer m' qui est à zéro, et qui monte jusqu'à la sixième division par l'arc BB, tandis que la première bille reste immobile à zéro. Dans ce cas, la bille choquante partage d'abord sa vitesse avec celle qui est en repos, en sorte que toutes deux tendent à se mouvoir avec une vitesse de trois degrés; mais comme ce partage de la vitesse développe dans chaque bille une force de ressort de trois degrés, il s'ensuit que la bille choquante doit rétrograder avec trois de vitesse, mais elle en possède trois pour aller en avant, qui détruisent la rétrogradation, et font que la bille doit être sans mouvement, tandis qu'au contraire la bille choquée, qui aurait d'abord le mouvement par la communication qui aurait lieu entre des corps non élastiques, acquiert, par l'action du ressort, trois autres degrés qui s'ajoutent à ceux-ci, et font monter la bille jusqu'à 6.

Des billes de masses égales, se mouvant en sens contraire avec la même vitesse, changent leur mou-

vement et reculent d'une quantité égale à celle dont elles sont descendues. Si les masses sont égales et les vitesses différentes, elles rétrograderont après avoir échangé leur vitesse, c'est-à-dire que si la boule m descend de 4, m' de 8, après le choc, m' rebrousse chemin jusqu'en 4, et m jusqu'en 8.

Examinons ce qui se passerait si la masse de la bille en repos était double de celle de la bille en mouvement. Si nous élevons cette dernière jusqu'à la division 9, nous la verrons, après le choc, revenir jusqu'en 3, tandis que l'autre bille se portera en arrière jusqu'en 6. Dans ce cas, le premier effet du choc est de joindre les deux billes, la vitesse 9 se trouve appliquée à une masse 3, et il en résulte, pour cette masse, une vitesse de 3. La force de ressort qui se développe est déterminée par la perte de 6 degrés de vitesse, ce qui détermine la bille choquante à rétrograder avec 6 degrés; mais comme elle, a'en sens opposé, une tendance égale à 3 degrés, elle ne pourra rebrousser qu'avec 3. La bille choquée ne reçoit qu'une vitesse de 3, qui vient se joindre aux trois degrés qu'elle devait recevoir naturellement par le partage des forces, et par là porte à 6 degrés le recul qu'elle doit éprouver.

Forces centrales.

Supposons que le corps A, Fig. 89, soit soumis en même temps à deux puissances perpendiculaires entre elles AB, AC, et dont les intensités soient comme 3 est à 1; le mouvement aurait lieu alors suivant la diagonale Ad, et continuerait vers lmD , si rien ne changeait; mais si, au contraire, la puissance AC se trouve placée entre dH à angle droit avec la nouvelle direction AD, le mouvement sera composé de nouveau, et le corps ira de d en e . Si

alors cette puissance se trouve placée en eI , faisant un angle 3 avec eE , le corps se dirigera de e vers f , et si le mouvement continuait à se composer d'une manière analogue, le corps se porterait de f en g , puis en h , etc., de manière à aboutir de nouveau au point A , après avoir fait le tour. Ce que nous venons de supposer se réalise dans la fronde, car la main passant par les points $CHIK$ fait passer la corde par les directions AC , dH , eI , etc. Cette corde, conservant une longueur constante, représente une force qui ne varie pas d'intensité, mais seulement de position. Si nous considérions ces éléments $Adef$, etc., comme infiniment petits, leur suite formerait un cercle. Tout corps qui se meut suivant un cercle, est donc soumis à deux forces qui doivent agir continuellement; car si l'une des deux s'anéantissait, le corps ne pourrait plus circuler, parce qu'il n'obéirait plus qu'à une seule force; par exemple, si la corde d'une fronde venait à casser lorsqu'elle se trouve en eI , la pierre s'en irait par eE , ligne que l'on appelle tangente. Ces deux forces, dont la composition produit le mouvement circulaire, et dont l'une tend à éloigner le corps du centre de mouvement, l'autre à s'en rapprocher, ont reçu le nom de *forces centrales*. Pour les distinguer, on a donné à celle qui éloigne le corps le nom de *force centrifuge*, à l'autre le nom de *force centripète*.

Les planètes sont soumises à l'action de ces deux forces. Dans ce cas, la force centrifuge, résultant de la rotation, tend à les éloigner de leur centre de mouvement, tandis que la gravitation qui tient lieu de la force centripète, tend à les rapprocher de ce centre.

Nous allons rapporter ici les théorèmes que les mathématiciens ont démontrés.

1° Les forces centrifuges de deux corps qui se meuvent avec la même vitesse, à égale distance du centre, sont entre elles comme les masses de ces corps.

2° Les forces centrifuges de deux corps égaux, qui se meuvent, dans des temps périodiques égaux, à différentes distances du centre, sont entre elles comme des nombres qui représentent ces différentes distances.

3° Les forces centrifuges de deux corps dont les temps périodiques sont égaux, et dont les masses sont en raison inverse de leur distance au centre, sont égales entre elles.

4° Les forces centrifuges de deux corps égaux qui se meuvent, à égale distance du centre, avec des vitesses différentes, sont entre elles comme les carrés de ces vitesses.

5° Les forces centrifuges de deux corps inégaux qui se meuvent, à égale distance du centre, avec des vitesses différentes, sont entre elles comme les produits de leur masse multipliés par le carré de leurs vitesses.

6° Les forces centrifuges de deux corps égaux qui se meuvent, avec des vitesses égales, à différentes distances du centre, sont entre elles en raison inverse de ces distances au centre.

7° Les forces centrifuges de deux corps inégaux qui se meuvent, avec des vitesses inégales, à différentes distances du centre, sont entre elles comme les masses de ces corps multipliés par les distances au centre l'un de l'autre.

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

leur vitesse, multipliés par les distances au centre l'un de l'autre.

CHAPITRE VII.

HYDRODYNAMIQUE ET HYDRAULIQUE.

L'HYDRODYNAMIQUE est la partie de la physique, dont l'objet est de déterminer les lois du mouvement des fluides; et l'application de ces principes à la conduite des eaux a reçu le nom d'hydraulique, dénomination que l'on donne aussi à toutes les machines qui servent à conduire les eaux.

Pression constante.

La première chose à faire quand on veut observer les lois que suivent les liquides dans leur écoulement, c'est de produire une pression constante, car sans cela il arriverait que, dans certaines circonstances, même favorables d'ailleurs, le liquide s'échapperait plus rapidement que dans d'autres cas où les dispositions sont plus favorables. On sait, en effet, que la pression d'un liquide sur la paroi du vase qui le contient, est d'autant plus grande que le niveau est plus élevé, et que, dans ce cas, il coule plus rapidement par le même orifice que quand son niveau ayant été baissé, la pression est devenue moins intense. Comme dans toutes ces expériences le niveau doit sans cesse baisser, on a été obligé de

recourir à différents moyens pour remédier à cet inconvénient : ces moyens sont principalement *le trop plein, le flotteur de Prony et le vase de Mariotte.*

Le trop plein.

AB (Fig. 90) représente un réservoir auquel est ajusté une soupape conique z , mobile à l'aide du bras du levier L , et qui laisse arriver le liquide dans les caisses dd' par le tube b , qui sont l'un et l'autre destinés à empêcher l'agitation causée par la chute du liquide. À mesure que le liquide s'échappe par l'ouverture e , on en laisse arriver une quantité égale du réservoir supérieur AB. Si cette quantité était plus que suffisante, l'excédent s'échapperait par l'échancrure r ; d'où il résulte que la hauteur étant toujours la même, la pression est constante.

Flotteur de Prony.

Cet ingénieux appareil, que nous devons au savant dont il porte le nom, est représenté (Fig. 91). Il consiste en une cuve où l'on fait entrer un vase de cuivre appelé *flotteur*, de diamètre presque égal, auquel on fixe, par le moyen de tringles, un vase destiné à recevoir le liquide par l'intermède d'un entonnoir. Il résulte de cette disposition, que le flotteur s'enfonce d'autant plus que la quantité du liquide écoulé est plus considérable, et que le vase remplace, par son immersion, sensiblement le liquide écoulé. Comme le liquide qui pressait précédemment par l'élévation de sa colonne dans le grand vase, se trouve actuellement dans le vase qui communique au flotteur par les tringles, il produit alors,

par son poids, un effet égal, quelle que soit la hauteur du liquide dans le grand vase.

Vase de Mariotte.

Il se compose d'un vase (Fig. 92) à deux tubulures, dont la supérieure donne passage à un tube t , que l'on peut élever ou abaisser à volonté, et dont l'inférieure a un diamètre assez petit pour que la colonne liquide ne soit point divisée par la pression atmosphérique. Lorsque l'orifice inférieur du tube est enfoncé au-dessous de la ligne horizontale qui passe par la tubulure inférieure (celle-ci étant ouverte), l'écoulement doit avoir lieu, parce que la pression extérieure qui s'exerce sur la tubulure n'est égale qu'à celle de l'atmosphère, tandis que celle de l'intérieur du vase se compose de la pression atmosphérique ; jointe au poids de la colonne liquide zm' , d'où l'on voit que le liquide doit s'écouler ; et il s'écoule en effet jusqu'à ce que les deux pressions se fassent équilibre, ce qui arrive quand le niveau de l'intérieur du tube s'est abaissé jusqu'en $m'o$: alors tout écoulement cesse, et le vase reste plein, quoique son orifice soit ouvert. Mais si l'on fait remonter le tube jusqu'en r , il s'élève de son orifice des bulles d'air qui font renaître l'écoulement et le maintiennent constant par leur succession rapide ; la vitesse avec laquelle les bulles se dégageront sera d'autant plus grande, que l'orifice du tube sera plus élevé au-dessus de la ligne mo ; ce qui rendra par suite l'écoulement plus rapide, et le liquide sortira avec la même vitesse, parce que la hauteur de la colonne rm' , d'où dépend cet écoulement, reste constante, quelle que soit d'ailleurs la hauteur du liquide au-dessus de l'orifice du tube, puisque la pression

de cette dernière tranche liquide est contre-balancée par la pression atmosphérique.

Théorème de Toricelli.

Ce théorème consiste en ce que *les molécules, en sortant de l'orifice d'un vase, ont la même vitesse que si elles fussent tombées librement dans le vide d'une hauteur égale à la hauteur du niveau au-dessus du centre de l'orifice*; d'où il résulte que *la vitesse de l'écoulement ne dépend que de la profondeur de l'orifice au-dessous du niveau, et nullement de la nature du liquide; tous les corps en tombant dans le vide, d'une même hauteur, acquièrent une même vitesse*, conséquence vraiment merveilleuse, car le mercure, qui pèse treize fois et demie autant que l'eau, n'a pas plus de vitesse; et que si nous supposions une colonne de trente-deux pieds au-dessus de l'orifice, la pression, pour l'eau, correspondrait à une seule atmosphère, tandis qu'elle serait plus considérable pour le mercure; elle serait alors de treize atmosphères et demie. Il résulte de ce beau théorème que : *pour un même liquide, les vitesses d'écoulement sont comme les racines carrées des profondeurs des orifices au-dessous du niveau. puisque les vitesses qu'acquièrent les corps en tombant, sont entre elles comme les racines carrées des hauteurs d'où ils sont tombés*. Si, par conséquent, on avait une colonne de liquide de cent pieds de hauteur, et que l'on pratiquât deux ouvertures, l'une à la partie inférieure, c'est-à-dire à cent pieds au-dessous du niveau, et l'autre à un pied seulement au-dessous de la surface, la vitesse du liquide sortant par l'orifice inférieur n'aurait que dix fois plus de vitesse que le liquide sorti par l'orifice supérieur.

Contraction de la veine.

Quand on a pratiqué une ouverture sur le fond d'un vase ou sur l'une de ses parois ; on sait que le liquide prend la forme de cet orifice, et qu'il s'éparpille après avoir présenté, dans une certaine étendue, une colonne de cristal transparente, et qui semble immobile. Au sortir de cet orifice, la colonne a le même diamètre que lui ; mais elle commence bientôt à diminuer de plus en plus de diamètre jusqu'à une certaine limite, qu'on nomme *contraction de la veine*, au-delà de laquelle elle augmente jusqu'à sa dispersion. Si l'orifice, au lieu d'être rond, avait une forme carrée, non-seulement la veine se contracterait, mais encore elle se déformerait. A l'origine, elle présenterait la Fig. 93 ; un peu plus loin, sa section présenterait une croix (Fig. 94), puis un carré dont les angles correspondent aux côtés de l'orifice ; et cette forme se continue au-delà de la contraction ; les orifices de formes diverses présentent des particularités plus ou moins analogues.

Ajutages.

On donne ce nom aux tuyaux qui s'adaptent aux orifices faits en minces parois pour faciliter l'écoulement des liquides. Quand les ajutages sont *cyllindriques* et de même diamètre que les orifices auxquels ils sont appliqués, tantôt la veine passe sans toucher l'ajutage, ou reste *libre* comme on dit ; tantôt elle devient adhérente, et l'écoulement se fait à plein tuyau, ce qu'on désigne par l'expression de *gueulée*. Dans ce dernier cas, la dépense du liquide est plus considérable que dans l'autre. On peut

encore faciliter l'écoulement en appliquant un ajutage *conique*, et dans ce cas il paraît que la forme la plus favorable de toutes, est celle qui résulte de la réunion de deux troncs de cônes opposés, qui représentent exactement la forme de la veine, c'est-à-dire que *ri* (Fig. 95) soit trois fois égal à *ci*, et que *LL* soit les sept huitièmes de *zz*. On peut aussi former des ajutages qui diminuent la dépense du liquide; pour cela il suffit de former quelques renflements dans leur longueur.

Les inconvénients que font éprouver les varices doivent être assimilés à quelque chose d'analogue aux renflements des ajutages; c'est qu'elles diminuent la vitesse de la circulation.

Unité de mesure dans la distribution des eaux.

Ce que l'on appelle pouce d'eau, est la quantité de ce liquide qui, en une minute, s'échappe par une ouverture circulaire d'un pouce de diamètre, pratiquée dans une paroi verticale, et chargée d'une ligne au-dessus de la partie supérieure de l'orifice. Cette quantité répond à 14 pintes anciennes de Paris. Mais d'après ce que nous avons dit des ajutages, on pourrait rendre cette quantité moitié plus grande.

Jets d'eau.

D'après le théorème de Toricelli, la vitesse acquise par les molécules d'un liquide, à l'instant où il s'échappe d'un orifice pratiqué à la paroi supérieure d'un cylindre horizontal, communiquant avec un réservoir (Fig. 96), devrait le faire remonter à la hauteur du niveau de ce liquide dans ce réservoir; mais plusieurs causes s'y opposent :

tels sont les frottements contre les parois des tuyaux de conduite et contre l'orifice, la résistance de l'air, et les eaux qui retombent du point le plus élevé sur la colonne ascendante. On pratique l'orifice en minces parois sans y adapter d'ajutages, car, quelle que soit leur forme cylindrique ou conique, la hauteur du jet est moins considérable. Mariotte a montré que, quand les circonstances sont le plus favorables, le jet n'a que cinq pieds de haut pour un réservoir de cinq pieds un pouce, et qu'en général, pour déterminer la hauteur que doit avoir un réservoir pour produire un jet d'une hauteur donnée, il faut évaluer cette hauteur en pieds, ajouter autant de pouces qu'il se trouve d'unités dans la hauteur du jet, diviser par cinq et porter au carré; ainsi, pour un jet de cent pieds, il faudra, diviser 100 par 5, ce qui donnerait 20, qui, portés au carré, donneraient 400 pouces, ou à peu près 33 pieds, qu'il faudrait ajouter aux 100 pieds du jet pour avoir la hauteur du réservoir.

Réaction produite par l'écoulement des fluides.

Si l'on suspend, à l'aide d'un fil, un vase cylindrique ou cubique, le vase restera immobile, parce que les pressions qui s'exercent sur des points opposés de ses parois verticales se font équilibre; mais si on vient à percer l'une d'elles, le liquide s'échappera, en faisant éprouver au vase un recul semblable à celui qu'éprouve une pièce de canon. On rend cet effet plus sensible à l'aide du *tourniquet hydraulique* ou *machine à réaction*. Cet appareil consiste en un tube de verre ou de métal, portant à sa partie inférieure deux autres cylindres plus petits, dont les deux extrémités sont recourbées perpendiculairement à leur direction; le cylindre principal

ou réservoir est placé verticalement entre deux pivots, ou suspendu par un fil, et il acquiert un mouvement de rotation très rapide quand on laisse échapper le liquide en ouvrant les deux robinets rr' (fig. 97).

On a cru long-temps, sur l'autorité de Newton, que le recul de cette espèce était égal au poids d'une colonne liquide ayant pour base la section contractée de la veine qui s'écoule, et pour hauteur, la hauteur du niveau. Mais Daniel Bernouilli a démontré que, dans tous les cas d'écoulement, la force de réaction est égale au poids d'une colonne liquide ayant pour base la section contractée de la veine qui s'écoule, et pour hauteur le *double* de la hauteur du niveau. Bernouilli proposa de remonter les fleuves avec des machines fondées sur ce principe, et présentement on en voit sur le Rhône une application qui paraît assez heureuse.

Pompes.

On peut en distinguer quatre espèces, savoir : les pompes *foulante soulevante*, *foulante repoussante*, *aspirante soulevante* et *aspirante repoussante*.

La première se compose d'un corps de pompe AB, Fig. 98, au bas duquel est placé un bout de tuyau BN, ouvert à sa partie inférieure, ou mieux encore percé latéralement de plusieurs trous qui laissent passer l'eau sans admettre les ordures ; à la jonction de ce tuyau au corps de pompe, est placée une soupape, qui, en se soulevant, permet à l'eau d'entrer dans le corps de pompe, mais qui ensuite, en s'abaissant, l'empêche de ressortir ; le piston I, qui joue dans le corps de pompe, est également garni d'une soupape, et surmonté en outre d'une

fourchette x , par laquelle il est joint à la tige xX , qui sert à le mettre en jeu ; à la partie supérieure du corps de pompe est adapté le tuyau AT , qui porte à son extrémité supérieure un tuyau de décharge T ; si on soulève le piston, en abaissant le levier YZX , de manière à ce que ce levier se trouve dans la position yZu , ce piston s'élèvera dans le corps de pompe AB , d'une quantité égale à Xu ; et pendant ce temps, la soupape s se soulevant laissera passer l'eau du bassin dans la pompe par la pression de l'eau extérieure, et de l'air atmosphérique ; si l'on vient ensuite à rabaisser le piston, la pression qui en résulte fait fermer la soupape s , et ouvrir la soupape S , et par là l'eau qui d'abord était au-dessous du piston, se trouvant alors au-dessus, presse la soupape S contre le trou, ce qui empêche le liquide de redescendre. Un second coup de piston introduira dans le corps de pompe une seconde quantité d'eau, qui sera bientôt portée au-dessus du piston lorsque celui-ci sera abaissé, de sorte qu'enfin, au bout d'un certain nombre de coups, le tuyau AT se trouvera rempli, et qu'alors, à chaque coup de piston, le tuyau de décharge T laissera échapper une masse d'eau égale à un cylindre dont la base serait égale à la largeur du piston, et la longueur à Xu .

La pompe foulante repoussante consiste en un corps de pompe fermé par le bas, ouvert par le haut, et dans lequel se meut un piston k , Fig. 99, dont la soupape S est placée à l'extrémité inférieure du piston, et s'ouvre de haut en bas ; le tuyau montant DO est placé à côté du corps de pompe auquel il communique, et, vers leur réunion, est placée une soupape S . Par son propre poids, l'eau remplit le corps de pompe, qui est entièrement plongé dans ce liquide, en tombant par l'ouverture e ; si l'on

abaisse alors le piston k , en amenant le levier YXZ dans la position yuZ , la résistance de l'eau contre la soupape S la ferme aussitôt; cette eau ne pouvant donc reposer au-dessus du piston, et se trouvant pressée, monte dans le tuyau DO , en soulevant la soupape S , soupape qui, sitôt qu'on relève le piston, se ferme par la pression de l'eau qui vient de passer au-dessus. La soupape S serouvre en même temps par son propre poids et par celui de l'eau, de sorte qu'une nouvelle quantité de ce liquide passe au-dessous du piston qui le refoule encore dans le tuyau montant. Au bout d'un certain nombre de coups de piston, le liquide viendra sortir par le tuyau de décharge O .

La pompe aspirante soulevante est composée d'un corps de pompe AB , Fig. 100, ouvert par le haut, et à la partie inférieure duquel est adapté un tuyau FP d'aspiration; une soupape est placée à la réunion du tuyau et du corps de pompe, elle est destinée à laisser passer, en se soulevant, l'eau du tuyau d'aspiration PF dans le corps de pompe FE , et à l'empêcher, en s'abaissant, de redescendre par ce même cylindre. Un piston semblable à celui de la pompe foulante soulevante se meut dans le corps de pompe AB .

Quand la pompe n'est pas en mouvement, les deux soupapes se tiennent fermées; mais si l'on vient à soulever le piston I , l'air qui est contenu dans le tuyau d'aspiration, depuis la surface de l'eau aa , jusqu'à la soupape, ayant plus d'espace à occuper, perd de sa force élastique en se raréfiant, et ne peut plus faire équilibre à l'air extérieur, qui presse avec avantage sur la surface de l'eau, qui est contrainte alors de monter dans le tuyau d'aspiration, jusqu'à ce que le ressort de l'air intérieur, joint au poids de la colonne d'eau, fasse équilibre à la pres-

sion atmosphérique. Après quelques coups de piston, l'eau arrive dans le corps de pompe, passe au travers du piston en soulevant successivement la soupape sS, et le piston, en se levant, l'oblige à sortir par le tuyau de décharge. Il est inutile de dire que le tuyau d'aspiration ne peut avoir plus de 32 pieds d'élévation ; dans la pratique même, on ne lui en donne guère que 20 à 25. C'est pour avoir ignoré ce principe que les fontainiers de Côme de Médicis, grand-duc de Toscane, désirant faire monter l'eau à 50 ou 60 pieds, s'aperçurent qu'elle ne franchissait pas certaines limites, et allèrent consulter Galilée sur la cause de leur étonnement. On prétend, mais à tort, sans nul doute, que le grand homme répondit *qu'elle s'élevait jusque là, et pas au-dessus, parce que la nature n'avait horreur du vide que jusqu'à 32 pieds.*

La pompe aspirante foulante diffère de la précédente, seulement en ce que son piston est solide, et qu'en outre, à côté du corps de pompe, et vers la partie inférieure, est adapté un tuyau ascendant HR, Fig. 101, garni, dans le bas, d'une soupape s, et d'un tuyau de décharge R.

Bélier hydraulique.

Cette machine repose sur ce principe, qu'un liquide en mouvement dans un canal dont on ferme tout-à-coup l'ouverture par laquelle il s'échappe, exerce contre tous les points de la paroi une action d'autant plus grande, que la masse du liquide est d'autant plus considérable, et qu'elle se meut plus rapidement.

Si donc il se trouvait un orifice en quelque point de ce canal, il en sortirait un jet d'eau qui s'élèverait dans le premier moment beaucoup plus haut

que le niveau du liquide dans le réservoir. C'est au même génie qui créa les aérostats que nous devons le bélier hydraulique, dont nous allons donner la description.

CC, Fig. 102, *Corps du bélier*, est un canal dans lequel se meut l'eau d'une source qui s'écoulerait par l'orifice O, si rien ne s'y opposait. Vers cette extrémité, on ajuste les différentes pièces qui constituent la tête du bélier, et qui sont un boulet creux B, qui repose sur des courroies ou *muselières*, et dont la densité est double de celle de l'eau. Le liquide, par sa vitesse, s'applique contre l'ouverture O, où il joue le rôle d'une soupape, ce qui lui a fait donner le nom de *soupape d'arrêt*. Un autre boulet *b*, plus petit et de même densité que le premier, bouche l'ouverture *o*, qui se lève de bas en haut, et porte le nom de *soupape d'ascension*; A est un réservoir d'air d'où part un tuyau *cc*, qui sert à conduire l'eau; *s* est une petite soupape qui, s'ouvrant de dehors en dedans, est destinée à alimenter d'air le réservoir A. « Voici maintenant, dit M. Hachette, les effets principaux de cette machine mise en mouvement : l'eau, en s'écoulant par l'orifice O, acquiert la vitesse due à la hauteur de la chute; elle oblige le boulet B à sortir de sa muselière, et à s'élever jusqu'à l'orifice *o*; cet orifice est terminé par des rondelles de cuir ou de toiles goudronnées, contre lesquelles le boulet s'applique exactement; aussitôt que l'écoulement par cet orifice s'arrête, l'eau soulève le boulet *b* qui ferme l'orifice *o* du réservoir d'air A; elle s'introduit en même temps, et dans ce réservoir, et dans le tuyau d'ascension *cc*, et enfin elle perd la vitesse qu'elle avait, à l'instant où l'ouverture *o* s'est fermée; alors les boulets B*b* retombent par leur propre poids sur leur muselière, l'eau de la source recommence à

s'écouler par l'orifice O ; la soupape B se ferme de nouveau , et les mêmes effets se renouvellent dans un temps qui , pour un même béliet, ne change pas sensiblement. » Nous renvoyons , pour de plus amples détails , à l'ouvrage du savant mathématicien dont nous venons d'emprunter les paroles , et nous nous contenterons de dire que , dans la pratique , le béliet donne plus de soixante pour cent de la force réelle de l'eau de la source ; quantité que donnent à peu près *les roues à pots* les mieux construites.

Des tuyaux de conduite.

La conduite des eaux est un point important d'économie publique et d'économie industrielle ; mais en même temps , c'est une question d'hydraulique qui présente de grandes difficultés ; quelques centimètres de plus ou de moins , dans le diamètre des tuyaux qui distribuent les eaux dans une grande ville , correspondent à un capital de plusieurs millions , et il faut remplir la double condition de les faire assez larges pour qu'ils fournissent toute la quantité d'eau nécessaire , et assez étroits pour qu'ils coûtent le moins possible. Beaucoup d'ingénieurs habiles ont fait sur ce sujet des recherches théoriques et expérimentales , et les travaux récents de M. de Prony , de M. Girard et de M. Navier , ont jeté un grand jour sur cette branche de l'hydraulique. Mais il n'entre point dans le plan de cet ouvrage de présenter ces calculs ; nous dirons seulement que , pour appliquer la formule de M. Prony , il faut que le diamètre ne dépasse pas $\frac{1}{100}$ de la longueur du tuyau , et soit au moins de cent fois son diamètre ; il faut encore que le diamètre ne soit pas lui-même très petit : s'il n'avait que quelques milli-

mètres ou même un centimètre, la formule donnerait sans doute des résultats trop forts. Dans ces limites, elle a été vérifiée par M. de Prony avec tant de soin que l'on peut la regarder comme très exacte; elle s'accorde avec l'expérience, pour des conduites qui ont jusqu'à 2,280 mètres de longueur.

De l'écoulement des liquides par les tubes très fins.

M. Girard a fait des expériences très curieuses sur ce sujet; nous regrettons de n'en pouvoir ici donner que les résultats généraux.

Les liquides qui ne peuvent pas mouiller la substance solide des tubes, cessent de s'écouler sous une pression plus ou moins considérable, suivant le diamètre du tube et suivant sa longueur. Par exemple: sous une pression de $9^{\text{mm}},5$, le mercure qui a cessé de couler dans un tube de verre de $1^{\text{mm}},12$ de diamètre et de 357 millimètres, est alors égal à la force impulsive qui résulte d'une pression de $9^{\text{mm}},5$: il serait important de connaître la loi de ce phénomène.

Les liquides qui mouillent les tubes s'écoulent avec la même vitesse, soit qu'on plonge l'extrémité du tube dans un liquide de même nature, en tenant compte de la pression, soit qu'on la laisse libre pour que l'écoulement se fasse dans l'air.

Dans les tubes qui peuvent être mouillés, l'augmentation de température accélère la vitesse dans une proportion considérable: l'eau qui coule dans un tube de verre de $1^{\text{mm}},767$ de diamètre et de 939^{mm} de longueur, sous une pression de 182^{mm} , coule, par exemple, quatre fois plus vite quand elle est voisine du point d'ébullition, que quand elle est voisine du point de congélation. La température de moindre vitesse et la température de

la glace, et non pas la température du maximum de densité. Dans les tubes qui ne peuvent pas être mouillés, l'augmentation de la température n'accélère pas la vitesse. Sous des pressions égales et dans des tubes de même dimension, les divers liquides prennent, à la même température, des vitesses très différentes; le rapport de ces vitesses varie avec la température.

M. Dubuat est, je crois, le premier qui ait observé l'influence de la chaleur sur la vitesse de l'écoulement; ensuite M. Gerstner a fait sur ce sujet un grand nombre d'expériences qui ont été publiées en 1800 dans les Annales de Gilbert. Ces résultats sont curieux; mais ils ne suffisent pas pour conclure, comme fait M. Gerstner, que, si la chaleur donne plus d'activité à la végétation et à la vie, c'est seulement parce qu'elle favorise la circulation dans les vaisseaux capillaires des plantes et des corps vivants.

Des injections anatomiques. — Il y a dans l'organisation des corps vivants, pour la circulation du sang ou pour celle des autres fluides, des vaisseaux tellement nombreux et tellement déliés, que l'œil le plus exercé ne peut en suivre la trace au milieu des tissus où ils vont se ramifier et se subdiviser à l'infini. Pour les rendre perceptibles, on a imaginé depuis long-temps d'y injecter diverses substances: tantôt des substances liquides et vivement colorées, tantôt des substances susceptibles de se coaguler par le refroidissement. L'appareil le plus commode pour ces opérations délicates paraît être celui de M. Duméril: il se compose d'un long tube vertical, d'un ou de deux centimètres de diamètre, qui sert de réservoir; d'un second tube de quelques millimètres de diamètre et de quelques centimètres de longueur, qui s'ajuste au bas du premier pour éta-

blir la communication; d'un tuyau de gomme élastique fortement attaché à l'extrémité du second tube et servant à diriger le jet; enfin, d'un petit bec qui termine le tuyau de gomme et qui sert en quelque sorte d'entonnoir pour faire passer le liquide dans les vaisseaux les plus déliés; ce petit bec est un tube de verre effilé à la lampe. La pression est déterminée par la hauteur du liquide dans le réservoir, et, pour modérer la vitesse de l'écoulement, il suffit de serrer entre ses doigts le tuyau flexible de gomme élastique.

De l'écoulement de l'eau dans les canaux.

Rien n'est plus variable que la vitesse de l'eau dans les lits des fleuves et des canaux; les pentes plus ou moins rapides, les frottements latéraux, les accidents du fond et les sinuosités des rivages, sont des causes qui modifient sans cesse la marche des filets liquides, et qui produisent les *remous*, les *tournants*, et une foule de phénomènes qu'il est impossible de calculer d'avance, quoiqu'on puisse les expliquer dans chaque localité. Les canaux qui ont une pente uniforme, une direction rectiligne et des dimensions constantes, présentent des résultats plus simples et plus généraux. Les différentes couches liquides, depuis celle de la surface jusqu'à celle du fond, sont animées de vitesses différentes, et même dans chaque couche, les filets des bords et celui du milieu ne peuvent pas avoir la même vitesse, à cause de l'adhérence et du frottement qui ont lieu au contact des parois. De tous les filets d'eau qui passent à chaque instant dans la section perpendiculaire d'un canal, celui qui a la plus grande vitesse est le filet qui se trouve à la surface et au milieu du lit, à égale distance des deux bords. Cette vitesse *maximum*,

peut être déterminée au moyen d'un corps léger que l'on jette sur la surface, et qui prend à peu près le mouvement de l'eau. Or, on a constaté, par un grand nombre d'expériences que, si tous les filets liquides étaient animés d'une vitesse commune qui fût les huit dixièmes de la vitesse *maximum*, le volume d'eau qui passerait dans un temps donné, serait égal au volume d'eau qui passe dans le même temps en vertu de toutes les vitesses différentes dont les molécules sont réellement animées. Il suffit donc, pour avoir la dépense d'eau d'un canal, de multiplier la surface de sa section par les 0,8 de sa vitesse *maximum*. Cette règle, très simple, paraît suffisamment exacte pour la pratiquer.

Dans toutes les sections que l'on peut faire perpendiculairement au cours d'un fleuve, il passe la même quantité d'eau dans le même temps; car c'est à cette condition que le *régime est établi*, c'est-à-dire que le niveau reste le même en chaque point, sans qu'il y ait tendance à l'accumulation ni à la dépression. Pour connaître la dépense d'un fleuve, il faudrait donc connaître la quantité d'eau qui passe dans une section quelconque. Cela revient à connaître deux choses, savoir : la surface de la section, et la vitesse moyenne de tous les filets qui la traversent. Mais la vitesse moyenne n'est plus ici, comme dans les canaux, les 0,8 de la vitesse *maximum*; et il serait impossible de déterminer, en général, le rapport qui existe entre elles, puisqu'il suffit d'un rehaussement du fond, d'un creux, d'une sinuosité du rivage, ou même d'une autre cause moins apparente, pour en changer la valeur. Ce qu'il y a donc de plus exact pour jauger un fleuve, est de le faire passer par un pertuis dont on connaisse les dimensions et la profondeur au-dessous de l'eau, ou de le faire passer sur une digue où il forme une

nappe dont on puisse connaître la largeur et l'épaisseur.

Mouvement des gaz.

Les gaz sont soumis au théorème de Toricelli , quand les orifices par lesquels ils s'échappent sont pratiqués en minces parois, c'est-à-dire, que *les molécules possèdent, au sortir de l'orifice, la même vitesse que si elles fussent tombées d'une hauteur égale à la hauteur du niveau.* Observons que la hauteur de la colonne gazeuse de ce théorème n'est pas la *hauteur réelle* de la colonne qui surmonte l'orifice ; que la colonne d'après laquelle on doit déterminer la vitesse est beaucoup plus petite. Pour établir ces calculs, on suppose *une colonne liquide ayant la même densité que la couche gazeuse de l'orifice, et d'une hauteur qui est telle qu'elle puisse exercer sur cette couche toute la pression qu'elle supporte*; et la surface de cette colonne imaginaire est le niveau d'où sont censées arriver les molécules qui s'écoulent. Ainsi, pour fixer les idées, nous dirons qu'au niveau de la mer, où la pression atmosphérique est de 0 mètre, 76 cent., et la densité de l'air étant 0,0013, celle du mercure de 13,59, la colonne de liquide de même densité que l'air qui ferait équilibre à la pression atmosphérique, devrait avoir une hauteur de $\frac{0^m,76 \times 13,59}{0,0013}$ ou 7945 mètres, et, dans ce cas, la vitesse des molécules serait de 279 mètres par seconde, vitesse de l'air rentrant dans le vide.

Une des conséquences curieuses de ce théorème, c'est qu'à la même température la vitesse de l'air sortant d'un vase où il serait comprimé par cent at-

mosphères, ne serait que de 279 mètres par seconde, comme celle de l'air qui ne serait comprimé que par un centième d'atmosphère. Une autre conséquence non moins étonnante, c'est que les différents gaz, en rentrant dans le vide, acquièrent des vitesses qui sont en raison inverse des racines carrées de leurs densités, parce qu'elles sont entre elles comme les racines carrées des hauteurs, dont les molécules sont censées tomber, et que c'est en raison inverse des densités que sont les hauteurs. D'où il résulte que le plus léger des gaz, l'hydrogène, se précipite le plus rapidement dans le vide; et comme sa densité n'est que de 0,0686 de celle de l'air, sa vitesse doit être de 1065 mètres par seconde, c'est-à-dire double de celle d'un boulet sortant de la gueule du canon.

Il est encore plusieurs autres phénomènes qui se rattachent à l'écoulement des gaz, tels que la contraction de la veine, etc., dans le détail desquels nous n'entrerons point; mais nous ne devons point passer sous silence les gazomètres.

Gazomètres.

On donne ce nom à des appareils destinés à donner aux gaz des vitesses constantes pendant leur écoulement. Lorsqu'on veut atteindre une grande régularité dans l'écoulement, il faut se servir d'un appareil dont l'exactitude dépend de celle du vase de Mariotte. Soit donc un vase V (Fig. 103) rempli d'air, que l'on veut faire sortir uniformément; on adapte à sa partie supérieure un vase de Mariotte portant un robinet R; une ouverture O, par laquelle on le remplit d'eau et que l'on ferme avec un bouchon et un tube TH, mobile à volonté. D'après ce

que nous avons dit, aussitôt qu'on ouvrira le robinet R, l'eau s'échappera avec une vitesse constante par P, et comprimera, en s'accumulant au fond du vase, l'air d'une manière uniforme, et le forcera à s'échapper, avec une vitesse constante, par le robinet R', aussitôt que celui-ci sera ouvert.

Les grands gazomètres que l'on emploie pour l'éclairage sont fondés sur un autre principe. C'est un cylindre fermé par le fond et renversé dans un vase, comme serait une éprouvette dans laquelle on recueille des gaz. Ce cylindre est en métal, mais il n'enfonce pas dans le liquide de l'autre vase, parce qu'il est soutenu par le gaz, et que d'un autre côté, il est soutenu par des contre-poids. Le gaz s'échappe alors par un cylindre qui vient s'ouvrir un peu au-dessus de la surface de l'eau, et qui porte un robinet que l'on ouvre quand on veut répandre le gaz dans les tuyaux de conduite. Comme le poids qui charge le gazomètre est constant, l'écoulement l'est aussi.

CHAPITRE VIII.

LOIS DE LA CHUTE DES CORPS.

APRÈS ce que nous avons dit de la chute des corps dans le chap. II, de l'*attraction* et *pesanteur*, il ne nous reste plus qu'à faire connaître les lois auxquelles est soumise la vitesse qu'acquiert un corps en

tombant. On sait que la direction de la pesanteur est perpendiculaire à l'horizon ; on dit encore que cette tendance dirige tous les corps vers le centre de la terre ; mais la terre étant un sphéroïde aplati vers les pôles , comme nous le dirons en parlant du pendule , il arrive que les directions de toutes les forces *ne doivent point concourir en un seul point*. Il nous reste à déterminer si la vitesse varie pendant la chute d'un corps, et, en cas que la chose ait lieu, la loi que suit cette variation dans la nature. On ne peut guère évaluer directement l'espace que parcourt un corps dans un temps donné, que par la résistance de l'air et les autres causes qui peuvent influencer.

On avait soupçonné d'abord qu'à différentes distances de la terre, l'action de la pesanteur n'est pas la même; mais comme en essayant à de grandes hauteurs et à de grandes profondeurs la rapidité de leur chute, on n'avait pas trouvé de différence sensible, on en avait conclu l'invariabilité. Newton prouva, depuis, que l'attraction de la terre agit d'autant moins sur les corps, que ceux-ci sont plus éloignés. Suivant ce physicien, si la lune, abandonnée à la force centripète qui la sollicite, tombait vers notre globe, elle parcourrait environ quinze pieds un pouce dans la première minute de sa chute, espace qu'un corps parcourt en une seule seconde à la surface de la terre. Si ce corps tombait pendant une seule minute, l'espace qu'il parcourrait serait, comme nous le prouverons plus bas, d'après les lois d'accélération, trois mille six cents fois plus grand que s'il était porté à la même distance que la lune ; mais la lune est soixante fois plus éloignée du centre de la terre que les corps qui sont à la surface du globe ; et, de plus, trois mille six cents sont le carré de soixante. On est porté à conclure que l'action de la

pesanteur décroît, comme le carré de la distance augmente; voici comment on peut juger de l'intensité de la pesanteur: à une distance comme celle de la lune, en admettant, avec Newton, que la force centripète de la lune est la même que celle des corps terrestres, supposons (Fig. 104) que la terre soit représentée par T, la lune par L, l'orbite de la lune par L, A, B, C; il est clair, d'après ce que nous avons dit plus haut, qu'elle ne peut décrire cette courbe qu'en vertu de la composition de deux forces; et comme on peut évaluer les côtés d'un parallélogramme quand on connaît sa diagonale, et les forces composantes quand on connaît la résultante, et que d'un autre côté on peut calculer la vitesse de la lune et la courbe de son orbite, on peut arriver à l'appréciation de sa force centripète vers la terre. Pour le concevoir, supposons que LC représente l'arc de l'orbite lunaire parcourue pendant une minute. LD représente la quantité dans cet astre descendant vers la terre, TLE la quantité quand elle s'éloignerait par la tangente si la force centripète était anéantie. LD est la quantité qui représente 15 pieds 1 pouce. La lune, par l'action de sa force centripète, doit se rapprocher de nous d'une quantité égale au carré de l'arc qu'elle décrit, divisé par le nombre qui représente le diamètre de son orbite; or, l'arc que décrit la lune pendant une minute, dans son mouvement moyen, est de. 60079,^m044.

Le carré de ce nombre est de. . 3609491127,^m944.

Ce nombre divisé par le diamètre

de l'orbite qui est. 752124322,

Donne pour quotient. 4,799.

L'expérience a montré qu'en effet, à Paris, un corps en tombant parcourt à peu près 5 mètres pendant sa première seconde, pendant la seconde suivante, il parcourt trois fois la même quantité; cinq

fois ce même nombre à la troisième seconde, etc. ; et qu'en un mot, si l'on représente par l'espace parcouru pendant la première seconde, les espaces parcourus pendant les secondes suivantes croîtront dans la progression arithmétique des nombres 1, 3, 5, 7, 9, etc. : il suit de cette progression arithmétique qu'à la fin de chaque temps la somme des espaces parcourus est comme le carré des temps ; à la fin de la première seconde, l'espace est 1, dont le carré est 1 ; à la fin de la deuxième seconde, l'espace est 4 (dont 1 est pour la première seconde, 3 pour l'autre), le carré de 2 est 4 ; à la fin de la troisième seconde, l'espace est 9 (1 pour le premier temps, 3 pour le second, 5 pour le troisième), le carré de 3 est 9 ; à la fin du quatrième temps l'espace est 16. Maintenant, si nous remplaçons l'unité par le nombre que parcourt réellement un corps en tombant pendant une seconde, espace qui est de 4 mètres 9 centimètres, ou environ 15 pieds, nous aurons pour correspondre à la progression arithmétique, 1, 3, 5, 7, 15 pieds, 45 pieds, 135 pieds, etc. On parvient à démontrer ces lois à l'aide d'une machine ingénieuse qui porte le nom de son inventeur, Athwood. Voici en quoi consiste essentiellement cette machine, abstraction faite des perfectionnements qu'y ont apportés plusieurs artistes, tels qu'un mouvement de pendule destiné à indiquer le nombre des secondes pendant lequel la chute a lieu. La détente qui fait commencer la chute à un instant donné, A (Fig. 105), est une poulie très mobile et suspendue de manière à éprouver le moins de frottement possible (ordinairement l'axe de la poulie repose sur des roues qui rendent le frottement beaucoup moins considérable) ; BC sont des corps cylindriques parfaitement égaux en poids et en volume, et réunis par un fil très fin DEF, qui passe sur la

poulie. GH sont deux petites masses que l'on nomme poids additionnels, et que l'on peut mettre à volonté sur le corps B. KL est une règle graduée. I est un anneau que l'on peut fixer indifféremment en un lieu quelconque de l'échelle, et qui est assez large pour laisser passer le corps B et assez étroit pour arrêter le poids additionnel H. Les poids BC sont en équilibre comme nous l'avons dit; mais si l'on surcharge le corps B du poids additionnel G, l'équilibre sera rompu; et comme le petit corps est obligé de céder une portion de sa vitesse, il descend beaucoup plus lentement et dans un rapport que l'on peut trouver aisément, si l'on connaît son poids ainsi que celui des masses B, C, animées par sa chute. Si l'on place la partie inférieure du corps B, chargé de la masse G, à la hauteur du zéro, et qu'on l'abandonne ensuite, en ayant soin de compter sur un pendule qui mesure des temps égaux appropriés à la chute de ce corps, on verra qu'à la fin du premier temps l'extrémité inférieure du corps B sera en 1; à la fin du second, en 4; à la fin du troisième temps, en 9. Examinons maintenant ce qui arriverait, si ce poids additionnel n'agissait que pendant un certain temps; et pour cela, substituons le poids H au poids G; reportons la partie inférieure de B à zéro, et laissons-le tomber de nouveau. A la fin du premier temps, lorsque la partie inférieure de B arrivera en 1, le poids H restera sur le cercle I, ce qui enlèvera au corps B son poids additionnel et arrêtera l'action de la pesanteur. Le corps B acquerra alors une vitesse uniforme, et telle, qu'à la fin du premier temps, sa partie inférieure répond à 1; à la fin du second temps, elle répond à 3; à la fin du troisième temps, elle répond à 5; à la fin du quatrième temps, elle répond à 7, etc.; toujours dans la progression arithmétique énoncée ci-dessus.

De là on voit que si la pesanteur cesse d'agir, le corps continuera à se mouvoir avec la vitesse acquise, et parcourera dans le second temps de sa chute un espace double de celui qu'il a parcouru pendant le premier temps.

Avant de connaître la machine d'Athwood, Galilée était parvenu à déterminer les lois de la chute des corps à l'aide de l'appareil suivant :

Plan incliné de Galilée.

Cet appareil de Galilée n'est pas un plan proprement dit, mais une ligne inclinée sur laquelle on fait glisser un corps; c'est ordinairement une corde très unie, d'une vingtaine de pieds de long, tendue entre deux points fixes très solides, et sur laquelle on fait rouler un petit chariot. Dans ce cas, la pesanteur produirait tout son effet si la corde était verticale; elle ne produirait au contraire aucun mouvement si la corde était horizontale, et comme celle-ci a un certain degré d'inclinaison, la pesanteur est diminuée dans un rapport facile à calculer, et sa vitesse est représentée par la valeur primitive, multipliée par le sinus de l'angle d'inclinaison de la corde sur l'horizon. Mais comme on peut, sans rien changer au rapport des espaces parcourus dans des temps donnés, diminuer ou augmenter le mouvement absolu qu'une force imprime, quel que soit le rapport dans lequel on diminue ou on augmente cette force, la loi que nous allons observer pour la chute sur un plan incliné s'applique à la pesanteur elle-même. Or, si on fait glisser le chariot, et que l'on note les espaces qu'il parcourt pendant les deux premières secondes de sa chute, on trouve que ces espaces sont entre eux comme les carrés des temps employés à les parcourir.

Comme il était trop difficile et même impossible d'apprécier exactement, à l'aide de la machine d'Athwood ou du plan incliné, si l'intensité de la pesanteur est la même dans tous les climats, on a été obligé de recourir à d'autres moyens qui nous sont offerts par le pendule.

Pendule.

Cet instrument est un corps pesant A (Fig. 106), suspendu par le fil CE au point fixe C, autour duquel il peut décrire des arcs plus ou moins grands, tels que BD, FG, que l'on appelle oscillations ou vibrations.

On appelle *durée de l'oscillation* le temps que le corps A met à parcourir l'arc BD.

Quand on éloigne le pendule de la verticale, et qu'on le porte en F ou en B, il descend en décrivant la courbe BA et remonte par la courbe AD, en vertu de sa vitesse acquise, jusqu'à ce qu'il soit en G ou en D, à une hauteur qui égale celle dont il est parti de l'autre côté de l'arc. Arrivé à ce point, il retombe de nouveau, et remonterait au point F ou D pour revenir au point G ou D, et oscillerait indéfiniment de la sorte, si la raideur du fil et la résistance de l'air ne venaient s'y opposer.

Quand les oscillations sont très petites, leur durée est indépendante de leur amplitude; on les appelle *isochrones*, parce qu'elles se font toutes en temps égaux. Quand les oscillations ont une amplitude de 4 ou 5 degrés, leur durée devient sensiblement plus grande. Le poids de la boule et la nature de la substance qui la compose n'influent en rien sur cette durée; la durée des oscillations de plusieurs pendules dont les tiges sont de différentes longueurs, est comme les racines carrées des longueurs de ces

tiges : en effet, si l'on prend trois pendules, dont les longueurs soient entre elles comme les nombres 1, 4, 9, la durée des oscillations seront comme les nombres simples 1, 2, 3, ou, si l'on veut, le pendule 1 comparé à celui dont la longueur est 4, fait deux oscillations pour une de celui-ci, et trois pour une du pendule dont la longueur est 9.

Les lois que nous venons d'énoncer sur la vitesse relative et les nombres relatifs des oscillations de plusieurs pendules de longueurs différentes, subsisteraient encore quand même l'action de la pesanteur augmenterait ou diminuerait; seulement dans le premier de ces deux cas, la durée absolue de chaque oscillation serait plus courte, plus grande au contraire dans le deuxième cas. Ceci nous donne donc un moyen de reconnaître (en comparant dans tous les points du globe le nombre absolu des oscillations que fait un pendule dont la longueur reste constante, pendant un même espace de temps) si l'intensité est la même dans tous les lieux de la terre.

Avant de parler plus au long de l'application de cet instrument à l'évaluation de la pesanteur, nous allons parler du pendule composé, qui est celui dont on se sert réellement, tandis que celui dont nous venons de parler n'est qu'une représentation de ce qui se passe théoriquement, puisque nous avons supposé toute la matière qui le compose réunie en un seul point. On nomme ce pendule composé, parce que la vitesse de ses oscillations se compose de la vitesse qu'aurait chacune des molécules qui composent la tige et la masse elle-même du pendule, agissant à des distances inégales du centre de mouvement.

Pour mieux faire comprendre ceci, nous allons donner l'exemple suivant : soit FP (Fig. 107), un pendule ordinaire, F le point fixe, *ll'* la lentille,

Et la tige; on çonçoit, d'après ce que nous avons dit, que le point *m* et les autres, et tous ceux qui sont très voisins du centre de suspension, marcheraient très vite s'ils étaient seuls, tandis qu'au contraire les points *p*, et ceux qui en sont très éloignés, iraient lentement. Les premiers sont donc retardés et les seconds sont accélérés dans leur vitesse; mais entre tous ces points il'en doit exister un qui n'est ni retardé ni accéléré; c'est ce point qu'on appelle *centre d'oscillation*, qui est le centre de gravité commun de la boule et de la tige prises ensemble.

On appelle *pendule sexagésimal* le pendule qui fait une oscillation en une seconde. A Paris, la longueur de ce pendule est de 993 millimètres, 8267; à Londres, de 994 millimètres, 1147; cette dernière longueur a été déterminée en 1818, par le capitaine Kater, au moyen d'un appareil ingénieux qu'il a inventé. Cet instrument n'est autre chose qu'un pendule à forte tige, portant deux couteaux placés de telle manière que le tranchant de l'un soit au centre d'oscillation de l'autre, et que par conséquent, après avoir fait osciller le pendule sur l'un des couteaux, on retrouve exactement la même durée et le même nombre d'oscillations en retournant l'appareil de haut en bas pour faire osciller sur l'autre couteau. La distance entre les deux couteaux est alors la longueur absolue du pendule.

En faisant osciller sur différents points de la terre un pendule dont la longueur reste constante, on trouve que la vitesse des oscillations varie d'un lieu à l'autre. Mais ce ne fut qu'en 1672, que Richer eut occasion de soupçonner ce fait, en observant que les pendules transportés à Cayenne, situé à 5° de latitude, quoique parfaitement réglés pour battre des secondes à Paris, mesuraient des temps sensiblement plus long que dans ce dernier lieu,

puisqu'il fut obligé de les raccourcir d'une ligne et un quart pour leur faire battre des secondes. Richer imagina d'abord que la chaleur qui s'y trouve plus grande qu'à Paris, avait fait alonger les tiges; mais quand il eut calculé l'influence de la température, il trouva que le raccourcissement était plus considérable que la dilatation qui aurait dû avoir lieu. Il fut donc porté à croire que l'action de la pesanteur pouvait être plus faible vers l'équateur que dans une plus grande latitude; mais son opinion trouva de puissants antagonistes dans Picard, Bartholin, Spole, Romer, qui assuraient que les pendules d'Uranibourg, Paris et Montpellier, devaient avoir la même longueur. Enfin, après beaucoup de contestations, on s'accorda à dire que l'intensité de la pesanteur croissait en allant de l'équateur aux pôles.

Quand le fait fut bien reconnu, on voulut l'expliquer par la force centrifuge, qui agit en sens opposé de la pesanteur, et qui augmente en sens inverse, c'est-à-dire qu'elle est d'autant plus grande que l'on s'approche davantage de l'équateur: cette explication séduisit presque tous les physiciens. Cependant Bouguer, calculant la force centrifuge à différentes latitudes, démontra, le premier la fausseté de cette explication, et fit voir que l'accroissement de la pesanteur, tel qu'on l'observe de l'équateur aux pôles, ne suit pas exactement la même proportion selon laquelle la force centrifuge diminue en allant dans le même sens. Il fallait donc conclure que l'on se rapprochait du centre de la terre, en allant de l'équateur aux pôles, et que, par conséquent, le diamètre qui passe par les pôles du globe est plus court que celui qui passe par l'équateur, et que la terre est aplatie vers les pôles. Ce fut Newton qui émit le premier cette opinion.

Depuis Newton on a été porté à admettre le même fait par diverses mesures d'arcs de méridien faites à différentes latitudes : au Pérou , par Bouguer et La Condamine ; au Cap-de-Bonne-Espérance , par La Caille ; dans l'Inde , par Lambton ; en Pensylvanie , par Moson et Dixon ; en Italie , par Lemaire et Boscowich ; en France , par Méchain et Delambre ; en Espagne , sur les côtes de la Méditerranée , par Arago et Biot ; en Angleterre , par Roy , Delambre et Méchain ; en Suède , par Mélanderhiel ; car de ces mesures , il résulte que la longueur des degrés va en augmentant de l'équateur aux pôles , et que par conséquent la terre est aplatie vers ses pôles. En effet , si la terre était sphérique , tous les degrés seraient égaux : si au contraire il existe une différence , il faudrait admettre que le sphéroïde terrestre n'est pas régulier , et si elle est aplatie , comme on le voit (Fig. 108) , deux lignes verticales près de l'équateur , faisant entre elles un angle d'un degré , se rencontreront plus tôt vers l'équateur que les verticales éloignés d'un degré , mais rapprochées des pôles. Alors l'arc d'un degré vers l'équateur , appartenant à un cercle d'un plus petit diamètre , sera moins long que l'arc d'un degré près des pôles , et par conséquent on est obligé d'admettre les conséquences qui résultent des observations que nous venons de rapporter , savoir : que la longueur des degrés , près des pôles , étant plus grande qu'à l'équateur , la terre est renflée vers l'équateur et aplatie vers les pôles.

On a trouvé , en combinant les mesures prises par les savants , que , le rayon de la terre à l'équateur est de 6376984 mètr. ou 1434,8 l.
 Le rayon du pôle de . . 6356324 . . . 1430,1
 La différence 20660 . . . 4,7

Et comme l'aplatissement est la différence entre

les rayons de l'équateur et du pôle divisé par le rayon de l'équateur, il est de $\frac{1}{308,165}$. Le rayon moyen, c'est-à-dire qui correspond à la latitude de 45° , est de 6366745 mètres, ou 1432,4 lieues.

CHAPITRE IX.

ACOUSTIQUE.

Production et Propagation du Son.

L'acoustique a pour objet de déterminer les lois suivant lesquelles le son se produit dans les corps et se transmet jusqu'à nos organes. Quand les molécules des corps élastiques sont dérangées momentanément de leur position ordinaire, elles y reviennent en formant des oscillations *isochrones* ou d'égale durée, plus ou moins nombreuses, qui se communiquent à l'air élastique lui-même, et qui, par son intermédiaire, se propagent au loin, après avoir excité les couches les plus proches d'une manière analogue à ce qu'on observe en jetant une pierre dans une eau dont la surface est plane et tranquille: car on voit alors les ondes s'y propager circulairement autour du centre d'ébranlement. Lorsque ces oscillations des corps élastiques sont assez rapides, elles font naître en nous la sensation du son, et la rapidité plus ou moins grande engendre les tons graves ou aigus. Il est facile, en

effet, de s'apercevoir que ces vibrations sont très rapides, lorsque ces corps sont ébranlés de manière à produire un son, et il suffit d'approcher le doigt ou une petite lame métallique, d'une cloche, par exemple, pour sentir une multitude de pulsations ou de battements. Il n'est pas moins aisé de montrer que le son résulte de ces vibrations portées à une certaine vitesse. Il n'y a qu'à les rendre très lentes d'abord, puis de plus en plus rapides, en prenant une corde tendue par un poids assez faible pour que les oscillations puissent être comptées, cas dans lequel le son n'est point sensible; et en ajoutant successivement de nouveaux poids qui, accélérant les ondulations, les rendent beaucoup trop rapides pour être comptées, et produisent des sons de plus en plus aigus; mais alors le calcul vient suppléer à nos sens et nous révéler cette rapidité, si nous connaissons la longueur et le poids de la corde, ainsi que celui qui la tend. On a trouvé que les sons cessent d'être sensibles pour l'oreille même la plus délicate, quand il s'effectue moins de trente-deux vibrations par seconde dans une corde, ce qui produit le son d'un tuyau d'orgue de trente-deux pieds et ouvert à son extrémité. Il n'est pas moins aisé de montrer que le son se transmet par l'air, quand il n'y a aucune autre substance interposée entre l'oreille et le corps sonore; et pour mettre la chose en évidence, on prend une petite cloche, on la suspend avec quelques brins de chanvre dans un ballon où l'on fait le vide; tant qu'il y a de l'air, on entend fort bien le son de la cloche, mais quand il n'y en a plus, c'est en vain que l'on agite le ballon: si l'on y fait rentrer de l'air peu à peu, le son augmente d'intensité proportionnellement à la quantité d'air qui est rentré. Tous les fluides élastiques et les vapeurs transmettent le son; aussi, pour faire

l'expérience que nous citons ici, faut-il dessécher le ballon au moyen de potasse caustique, de chlorure de calcium ou de toute autre substance avide d'humidité. On peut s'assurer que les vapeurs transmettent le son, en introduisant quelques gouttes d'un liquide dans la cloche où le vide avait été fait. Aussitôt on entend le son de la cloche, absolument imperceptible auparavant.

Les liquides transmettent aussi très bien le son, et Franklin nous assure avoir entendu sous l'eau le bruit de deux pierres que l'on y frappait l'une contre l'autre à la distance d'un demi-mille: il en est de même des solides, et c'est pour cela que le mineur entend les coups du mineur qu'on lui oppose, et s'en sert comme d'un guide certain pour avancer vers son compagnon, et faire communiquer les galeries. Cette transmission se remarque mieux encore dans les aqueducs où se trouve une longue suite de tuyaux métalliques: si quelqu'un frappe à l'une des extrémités, tandis qu'on prête l'oreille à l'autre bout, on entend deux sons, l'un plus rapide et qui arrive par le canal, et l'autre plus lent qui arrive à l'oreille par l'atmosphère. Nous dirons, en passant, que M. Delaplace a calculé que la vitesse dans l'air étant représentée par 1, elle le serait par $4\frac{1}{2}$ pour l'eau pure, $4\frac{7}{10}$ pour l'eau de mer et 10 pour le laiton.

Examinons comment les vibrations peuvent être transmises par l'air, et puisque leur continuité ne fait que rendre la transmission durable et le son prolongé, nous pouvons considérer le phénomène dans toute sa simplicité en examinant ce qui se passe pour un ébranlement instantané, tel que l'explosion d'une arme à feu. Si nous supposons que l'explosion se fasse dans une masse d'air sphérique, au moment où elle a lieu, les molécules de cette sphère

ont repoussées fortement, compriment celles qui les avoisinent, et qui, à leur tour, vont agir sur les suivantes pour leur transmettre une force qui, se communiquant de proche en proche, va toujours en décroissant jusqu'à ce que, parvenue à une certaine distance du centre d'explosion, elle devienne insensible. Mais quand la cause de l'explosion a cessé, les molécules qui avaient été comprimées, se dilatant en tout sens par leur élasticité propre, poussent les obstacles qui se présentent à elles, par conséquent les molécules qui n'avaient rien éprouvé dans le premier instant; de sorte que par ces condensations et dilatations, l'ondulation se propage dans la masse d'air, comme on voit le mouvement se transmettre à la dernière des billes élastiques dont on a formé une série, et dont on a choqué la première.

Vitesse du son.

L'explosion dont nous venons de parler peut nous servir à déterminer quelques-unes des propriétés du son, sa vitesse par exemple : en effet, la lumière qui l'accompagne pourra nous donner l'instant physique où l'explosion a eu lieu, puisque la transmission est si rapide, que, pour toutes les distances où nous pouvons opérer, elle semble instantanée. C'est par ce moyen, qu'en 1738, les membres de l'académie des sciences déterminèrent la vitesse du son. Outre les expériences des académiciens de Paris, en 1738, beaucoup d'expériences ont été faites en différents lieux pour déterminer la vitesse du son. Ainsi déjà le Père Mersenne, Cassini et Huyghens, avaient fait d'heureux essais. En Angleterre, on connaît les expériences de Walker, en 1698, celles de Flamsteed et Halley, et celles

de Derham en 1704; en Italie, celles de l'académie del Cimento de Florence en 1660, et celles de Bianconi en 1740; en Allemagne, celles de Mayer en 1778; celles de Muller en 1791, et celles de Bensenberg en 1809; dans les Pays-Bas, celles de Moll et Vanbeek en 1823; enfin en Amérique, celles de La Condamine en 1749, et celles d'Espinosa de Bauza en 1794. Mais ces expériences offrent des différences assez considérables. Nous ne parlerons que 1° de celles des académiciens en 1738, et 2° de celles qui ont été faites près de Paris, en 1822, par le Bureau des Longitudes, sur la proposition de feu M. Delaplace. On croyait la vitesse du son de 1038 pieds par seconde, et ils la trouvèrent de 337^m,18 pour le même laps de temps. Les expériences furent faites entre Montmartre et Montlhéry, en donnant le signal avec une pièce de canon.

On observait le temps qui s'écoulait entre l'apparition de la lumière et le bruit du coup de canon, puis, en divisant l'espace (environ 29000^m) par le temps observé, on avait la vitesse du son. Dans les expériences de 1822, les deux stations que l'on avait choisies, étaient Villejuif et Montlhéry. A Villejuif le capitaine Boscary fit disposer, sur un point élevé, une pièce de canon de six avec des gargousses de deux et de trois livres de poudre. Les observateurs, placés auprès de la pièce, étaient MM. de Prony, Arago et Mathieu. A Montlhéry, le capitaine Pernetty fit disposer une pièce de même calibre, avec des gargousses de même poids; les observateurs étaient MM. de Humboldt, Gay-Lussac et Bouvard. Les expériences furent faites de nuit et commencèrent à onze heures du soir le 21 et le 22 juin. De Villejuif on apercevait très distinctement le feu de l'explosion de Montlhéry, et réciproquement. Le ciel était serein, et l'air à peu près calme.

Les chronomètres étant bien réglés, il avait été convenu que chaque station tirerait douze coups, à dix minutes les uns des autres, et que la station de Montlhéry commencerait cinq minutes avant celle de Villejuif; de telle sorte qu'un observateur qui aurait été placé juste au milieu de la ligne des deux canons, aurait entendu de cinq en cinq minutes des coups *croisés et réciproques*, le premier venant de Montlhéry, le second de Villejuif, le troisième de Montlhéry, etc. Ces coups réciproques étaient le seul moyen de découvrir l'influence du vent sur la vitesse du son, ou plutôt de découvrir si, au milieu des variations sans nombre qui modifient l'atmosphère à chaque instant, le son emploie le même temps pour parcourir le même espace dans les deux directions opposées.

Les observateurs de Villejuif entendirent parfaitement tous les coups de Montlhéry; chacun d'eux notait, sur son chronomètre, le temps qui s'écoulait entre l'apparition de la lumière et l'arrivée du son; la plus grande différence que l'on trouve entre trois résultats correspondants à une observation, ne s'élève pas à plus de trois ou quatre dixièmes de seconde: et entre les douze observations la différence des moyennes ne dépasse pas trois dixièmes de seconde; le temps le plus long est de 55 secondes, le plus court de 47",7 et le temps moyen 54 secondes, 8 r.

A Montlhéry, on ne put entendre que sept des dix coups tirés à Villejuif; et même, sur ces sept coups, il n'y en eut pas un seul qui fut entendu par les trois observateurs à la fois. Cependant les résultats sont assez concordants: le temps le plus long est de 54",9, le plus court de 53",9 et le temps moyen 54",43. Ainsi on peut prendre 54",6 pour le temps moyen que mettrait le son pour passer d'une station à l'autre.

Restait à mesurer exactement l'intervalle des deux stations ; M. Arago fut chargé de ce soin. En s'appuyant sur les travaux de la triangulation de la méridienne, il trouva que les deux canons étaient à une distance de 9549 toises, 6. En divisant donc cette longueur par 54,6 on trouve 174,9 toises ou 340 mètres 88 pour l'espace que le son a parcouru en une seconde dans ces expériences. La température était de 16° centigrades ; le baromètre marquait, à Villejuif, 756 millimètres 5 et l'hygromètre de Saussure 78°. Ainsi la vitesse de propagation du son est donc de 340 mètres, 88 à 16°.

Des expériences faites par les Académiciens, en 1738 et en 1822, il résulte que la vitesse du son est constante, qu'elle est sensiblement la même par un temps pluvieux que par un beau temps ; que l'intensité du son n'a pas d'influence, et que la direction et la force du vent en ont une qui se manifeste de la manière suivante. Si sa direction concourt avec celle du son, la vitesse est augmentée ; si elle est perpendiculaire à la propagation, la vitesse n'est pas altérée, et enfin la rapidité diminue, quand le vent marche en sens contraire.

Quand on compare la vitesse donnée par une théorie fondée sur les lois de la mécanique, et celle que l'on trouve par expérience, on voit que cette dernière (340,88) est d'un sixième plus considérable que l'autre (282^m 42 à dix degrés). M. Delaplace pensait que l'on devait attribuer à la chaleur dégagée dans l'air par la compression, la discordance que l'on observait entre ces nombres. Ce qui rend probable ce dégagement de chaleur, que l'on ne peut pas mettre en évidence, c'est que les calculs faits dans cette hypothèse par Delaplace et par M. Poisson d'un autre côté, donnent des résultats qui se rapprochent beaucoup de ceux qui provien-

ment de l'observation. Des formules donuées par les mathématiciens on tire une conséquence importante pour la distinction que l'on doit établir entre la vitesse et l'intensité du son; car la vitesse doit être la même à toutes les hauteurs de l'atmosphère, tandis que son intensité diminue tellement, que de Saussure nous dit que dans les régions élevées des Alpes, le bruit d'un coup de fusil ou de pistolet ne se fait entendre qu'à une faible distance.

La vitesse du son peut donner lieu à des observations curieuses, et quelquefois fort importantes: telles sont celles qui indiquent la distance d'une ville assiégée, par le nombre des secondes et fractions de seconde qui s'écoulent, ou l'éloignement de la foudre qui gronde en se manifestant par des éclairs.

Onde sonore.

Supposons une lame élastique placée dans une colonne d'air cylindrique, d'une densité uniforme, et vibrant perpendiculairement à cette colonne. D'abord cette lame élastique ébranlera la couche d'air qu'elle touche immédiatement, la poussera et la comprimera, puis, dans son retour, elle laissera un vide où cette couche pourra se dilater, de telle sorte que les particules d'air contiguës à la lame vibrante feront des allées et des venues comme elle, par des vibrations semblables. Ces particules d'air, par leurs vibrations, ébranleront celles qui les avoisinent; celles-ci agiteront celles qui les suivent, et ainsi indéfiniment. Cet ébranlement se continuera tant que le corps élastique sera en état de vibration; c'est à l'ensemble de ces différentes ondulations, communiquées successivement aux différentes couches d'air, que l'on a donné le nom d'*onde sonore*.

Bruit et son musical.

Il faut distinguer, dans le son, le bruit et le son musical : le son musical consiste dans une série de vibrations isochrones qui viennent produire une action agréable sur notre oreille, tandis que le bruit est un choc instantanément communiqué aux particules aériennes. Dans le son musical, il faut établir trois distinctions relatives à l'*intensité*, au *ton* et au *timbre*.

La différence qui existe entre les sons graves et les sons aigus, est si frappante pour nos organes, qu'elle doit, sans nul doute, correspondre à quelque modification physique bien caractérisée dans l'air qui porte les sons. Des observations ont démontré que le son le plus grave que nous puissions entendre a une longueur d'onde de 32 pieds, et que le son musical le plus aigu n'a qu'une longueur de 18 lignes environ. Entre ces deux limites sont compris tous les sons et toutes les nuances que l'oreille puisse distinguer, et deux ondes de même longueur donnent toujours l'*unisson* parfait, quelle que soit d'ailleurs l'*intensité* ou le *timbre* des sons qu'elles portent. Les ondes plus longues que 32 pieds et celles qui sont plus courtes que 18 lignes, viennent sans doute frapper aussi à leur manière la membrane du tympan ; mais il n'en résulte aucune sensation distincte : l'organe est sourd pour ces sons-là. Le *rapport d'acuité ou de gravité de deux sons est ce qu'on appelle ton*.

L'*intensité* du son ne peut pas dépendre de la longueur des ondes, elle dépend seulement des compressions plus ou moins fortes, ou des vitesses plus ou moins grandes que l'air a reçues du corps sonore, et qui se transmettent de couche en couche jusqu'à

notre organe. Une corde de basse peut être à l'unisson avec le bruit déchirant du tamtam ; c'est-à-dire que les ondes sont de même longueur ; mais l'air frappé par le tamtam accomplit des vibrations dont l'amplitude est beaucoup plus grande : c'est là ce qui fait son intensité assourdissante.

Le timbre des sons est bien plus difficile à caractériser que le ton et l'intensité : les physiciens ne sont pas complètement d'accord sur ce point ; mais il paraît bien probable que le timbre dépend de l'ordre dans lequel se succèdent les vitesses et les changements de densité dans les différentes tranches d'air qui sont comprises entre les deux extrémités de l'onde. On a même supposé que les sons articulés par une voix, diffèrent des sons inarticulés, en ce que les ondes sont toujours *dentelées* pour les premiers et ne le sont jamais pour les seconds. L'onde simple serait, par exemple, un arc de cercle, et l'onde dentelée ressemblerait au même arc de cercle pris à la circonférence du scie circulaire. Du reste, quel que soit le *son*, le *timbre* ou l'intensité des sons, ils se propagent avec la même vitesse ; car plusieurs observateurs, écoutant un concert à diverses distances, entendent tous la même mesure et la même harmonie. Ainsi, en se propageant au loin, les sons se succèdent dans le même ordre et aux mêmes intervalles : ce qui suppose nécessairement qu'ils marchent avec la même vitesse.

Diminution de l'intensité du son.

Lorsque le son se propage dans une masse d'air limitée, comme, par exemple, dans un tuyau cylindrique, l'expérience prouve qu'il peut se propager à de grandes distances, en conservant la même intensité. A la vérité, le frottement des particules de

L'air contre les parois du tuyau enlève bien une partie du mouvement, ce qui doit nécessairement diminuer l'intensité du son, mais M. Biot a observé, dans les aqueducs de Paris, sur une longueur de 951 mètres, que la voix la plus basse possible d'une personne placée à l'une des extrémités de cette longue suite de tuyaux, se faisait entendre très distinctement à l'oreille de l'observateur qui était placé à l'autre extrémité. Ce qui prouve encore la constance de l'intensité du son dans un tuyau cylindrique, c'est qu'en sortant d'un pareil tuyau, il se propage à une distance de son extrémité, qui est justement égale à celle où il aurait été transmis, au-delà du centre d'ébranlement, s'il se fût produit directement dans l'air libre.

Lorsqu'au contraire le son est produit dans une masse d'air indéfinie, il se propage tout autour de son point d'origine, d'abord à la première couche d'air, puis de celle-ci à la suivante, et ainsi de suite, de manière qu'à chaque instant les particules d'air ébranlées se trouvent être sur une surface sphérique dont le rayon va sans cesse en augmentant. Dans ce cas, l'intensité du son décroît en raison inverse du carré de la distance au centre d'ébranlement.

Quand le son se propage en montant dans l'atmosphère, il diminue d'intensité par une double cause: il diminue, parce que la distance augmente, et parce que l'air dans lequel il se propage, est de plus en plus raréfié. Les bruits les plus violents qui retentissent sur la terre, ne peuvent pas sortir des limites de l'atmosphère; ils s'affaiblissent à mesure qu'ils en approchent, et s'éteignent sans pouvoir les franchir. Réciproquement, nul bruit ne peut venir des espaces célestes jusqu'à notre globe; les explosions les plus terribles pourraient éclater sur le

globe de la lune, sans qu'il nous soit donné d'en entendre le moindre retentissement.

Réflexion du son.

Lorsque le son se propage dans une masse d'air indéfinie, les ondes sonores qui en résultent peuvent s'étendre indéfiniment, mais si elles rencontrent un obstacle, elles sont susceptibles de se réfléchir à la manière du calorique, de la lumière, c'est-à-dire en faisant l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion.

La vitesse du son réfléchi, est exactement la même que celle du son direct.

L'intensité du son réfléchi est la même que celle qu'aurait l'onde sonore, dont la longueur serait égale à celle qui est réfléchie, si elle se fut propagée en ligne droite.

Lorsqu'un son est réfléchi confusément, il en résulte une *résonnance*; au contraire, lorsqu'il est répété distinctement, on le nomme écho (1) : ainsi un écho n'est autre chose que la réflexion ou la répercussion d'un son.

Les parois opposées des appartements sont capables de renvoyer le son, mais alors les intervalles, entre le son direct et le son réfléchi, sont sensiblement inappréciables. Pour distinguer facilement les sons, il faut qu'il s'écoule au moins $\frac{1}{10}$ de seconde d'un son à l'autre, c'est-à-dire que le son réfléchi, pour être entendu, ne doit arriver à l'oreille qu'après $\frac{1}{10}$ de seconde.

Il n'en est pas de même des *résonnances*, elles

(1) De ἠχώ, son, retentissement.

peuvent se faire entendre dans des lieux fermés, d'une petite étendue, tels que certains amphithéâtres, où elles sont favorables à l'orateur, en donnant plus de force à sa voix. Il n'est pas inutile de dire que les résonnances ne sont pas toujours le résultat de la réflexion du son, puisque souvent elles sont causées par la vibration des parois contre lesquelles va frapper l'onde sonore.

Les échos sont *monosyllabiques* ou *polysyllabiques*, suivant qu'il y a une ou plusieurs syllabes répétées distinctement.

On cite des échos qui répètent le même son plusieurs fois. Ainsi, en Angleterre, il y a un écho (dans le parc de Woodstock) qui répète vingt syllabes pendant la nuit, et dix-sept seulement dans le jour. Cette différence de trois syllabes paraît provenir de ce que, pendant la nuit, l'air étant plus froid a moins d'élasticité, et rend ainsi la vitesse du son moins grande. On cite encore des échos qui répétaient le même son jusqu'à quarante fois, tel est celui qui paraît exister au château de Simonetta, en Italie.

Autrefois, on construisait des voûtes elliptiques, comme étant très favorables à la production des échos, mais cette forme était évidemment mauvaise, puisque l'on sait que l'ellipse a la propriété de réfléchir au deuxième foyer ce qui lui est envoyé par le premier; aussi, deux personnes placées aux deux foyers d'une ellipse peuvent s'entendre, même en parlant très bas, sans être entendues des personnes environnantes, comme cela existe dans une salle du conservatoire des Arts-et-Métiers. La forme la plus avantageuse que l'on puisse donner à une salle, paraît être la forme parabolique.

Porte-voix.

Le porte-voix, fondé sur le renflement du son, consiste en un tube (fig. 109) de cuivre ou de fer-blanc, d'une longueur variable, et dont l'une des extrémités est très évasée. Dans cet instrument, les sons produits à son extrémité la plus étroite, acquièrent, à une certaine distance du centre d'ébranlement, toute l'impulsion qui à l'air libre serait donnée à une onde sphérique; et, comme les vibrations ne peuvent se faire que dans l'espace correspondant aux côtés de l'instrument, il en résulte que le mouvement vibratoire, se répandant dans un espace beaucoup plus petit, l'intensité du son doit être beaucoup plus forte.

Cornet acoustique.

Le cornet acoustique n'est, en quelque sorte, que le porte-voix renversé; son objet est de renforcer les sons destinés à aller frapper la membrane du tympan. Son ouverture évasée reçoit une plus grande largeur de l'onde sonore, qui va en se rétrécissant à mesure qu'elle se propage vers la petite ouverture située du côté de l'ouïe, et renforce considérablement le son. Cet instrument est destiné aux personnes qui ont l'ouïe dure. La forme conique paraît être la plus avantageuse (fig. 110).

Vibrations des cordes élastiques.

Lorsqu'une corde ou un fil métallique est tendu par un poids constant, si on l'écarte de sa direction rectiligne, et qu'ensuite on l'abandonne à lui-même, il ne revient à sa position primitive qu'après un

certain nombre d'oscillations. La force de traction qui le sollicite, lui imprime un mouvement accéléré vers sa première position; mais une fois arrivé à cette position primitive de repos, il la dépasse en vertu de la vitesse acquise, et il s'écarte jusqu'à ce que la force de traction l'arrête; après quoi cette force le fait mouvoir en sens contraire: alors le fil oscille de part et d'autre de sa position primitive, et fait ainsi une suite d'oscillations, visibles à la vue simple, et dont l'étendue va constamment en diminuant. L'étendue ou l'amplitude de ces oscillations n'a pas d'influence sensible sur leur durée, et le ton du son qui en résulte ne change pas. Seulement, lorsque les vibrations se font avec une grande rapidité, le ton est plus ou moins *grave* ou *élevé*, suivant que la vitesse de ces vibrations est plus ou moins grande.

Pour parvenir à déterminer les lois des oscillations des cordes élastiques, on se sert d'appareils appelés *monocordes* ou *sonomètres*. Ces instruments consistent en une caisse vide, dont les parois sont faites de planchettes de bois, sèches, minces et élastiques, dont l'objet est de renforcer le son; c'est sur cette caisse que l'on tend, à l'aide de poids, une ou plusieurs cordes; mais pour que le poids qui les tend ne soit pas altéré par le frottement, on les fait passer sur deux poulies mobiles. Il y a deux espèces de sonomètres, le *sonomètre vertical* (fig. 111), et le *sonomètre horizontal* (fig. 112).

Dans les expériences qui demandent de la précision, l'on doit toujours se servir de la même corde, et lorsqu'il s'agit de lui donner diverses longueurs, on se sert d'un petit chevalet mobile *c*, qu'on approche ou qu'on éloigne de l'un ou l'autre des points de tension, de manière à obtenir une longueur de corde moindre (fig. 113). Il est inutile de dire que

l'on augmente ou diminue la tension de la corde, en augmentant ou en diminuant le poids qui la tend. Le sonomètre vertical est susceptible de donner beaucoup plus d'exactitude que le sonomètre horizontal, parce que, dans celui-ci, la tension de la corde est plus ou moins modifiée par le frottement que chaque poulie éprouve autour de son axe, et ce frottement est d'autant plus considérable que le poids qui tend la corde est plus grand, auquel cas chaque poulie se trouve plus fortement pressée sur son axe. Cet inconvénient n'existe pas dans le sonomètre vertical; aussi doit-il être employé de préférence toutes les fois que l'on veut apporter de l'exactitude dans les résultats.

A l'aide de cet instrument, on arrive aux conséquences suivantes :

1° Quand deux cordes, de même substance et de même diamètre, sont également tendues, les nombres de vibration qu'elles font, en un temps donné, sont en raison inverse des longueurs;

2° Lorsque la matière, le diamètre et la longueur, restant les mêmes, la tension est différente, les nombres de vibration qu'elles font en un temps donné, sont proportionnels aux racines carrées des poids qui les tendent.

La même corde est susceptible de vibrer entière, ou en un certain nombre de parties, séparées entre elles par des points appelés *nœuds de vibration*, où celles-ci sont nulles. Ainsi, lorsque l'on veut faire vibrer une corde dans toute sa longueur, il suffit de la fixer par ses deux extrémités, et de l'ébranler à l'aide d'un archet; elle rend un son d'une certaine intensité; mais si l'on vient à placer au-dessous d'elle, et au milieu de sa longueur, un petit chevalet, comme Fig. 114, on observe qu'elle donne un son semblable à celui que donnerait une

corde dont la longueur serait justement la moitié de celle de la première. Cela vient de ce que la corde vibre séparément dans toute sa longueur, comme si elle était seule et fixée par chacune de ses extrémités. Alors la corde produit deux sons, qui sont dits à l'unisson, et dont il est impossible de distinguer l'ensemble.

Une corde peut encore vibrer en deux, en trois, etc., parties séparées entre elles par des nœuds de vibration : pour cela, il suffit de placer le chevalet mobile au milieu, au tiers, etc., et on reconnaît alors que le son produit est justement le même que celui que rend une corde dont la longueur est la moitié, le tiers, etc., de la longueur de la corde primitive. Cela tient encore, comme précédemment, à ce que la corde se partage en deux, en trois, etc., parties séparées entre elles par des nœuds de vibration.

Lorsque, dans les expériences précédentes, le chevalet est placé au milieu de la corde, le nombre de vibrations exécutées par chaque moitié, dans un temps donné, est double de celui que rend la corde entière ; et le son qui en résulte est ce qu'on appelle l'*octave aiguë* du son que rend la corde entière.

Lorsque la corde vibre en trois parties, le son qui est rendu par l'une de ces parties est plus aigu que le son précédent ; il est l'*octave* du son que rendent les deux autres tiers de la corde ; en musique, c'est la *quinte* du son que produit la corde en vibrant dans toute sa longueur.

On démontre facilement, par l'expérience, l'existence des nœuds de vibration ; à cet effet, on place un chevalet en un point d'une corde, tel que les parties résultantes aient un rapport simple avec la longueur primitive. Ainsi, si le chevalet est placé au $\frac{1}{3}$ de la longueur de la corde, la partie la plus

longue en sera les $\frac{3}{4}$, et pour qu'elle rende le même son que la plus petite, elle est obligée de se diviser en trois portions, de longueurs égales entre elles, et de même longueur chacune que la plus petite; en effet, qu'on place sur la corde, à chaque tiers de la plus grande longueur, de petits chevalets de papier blanc; qu'on place d'autres petits chevalets de papier rouge au milieu de chaque quart, lorsqu'on passera l'archet sur la corde dont la longueur égale un quart, on verra tomber aussitôt les chevalets rouges, tandis que les autres resteront en repos. Cette expérience, qui a été faite, pour la première fois, par Sauveur, et qui porte son nom, prouve évidemment l'existence des *nœuds de vibration*, puisque les chevalets blancs restent en repos, malgré la vibration de la corde. Les points où sont placés les chevalets rouges, s'appellent *ventres de vibration*.

Vibrations des verges sonores.

Lorsqu'une verge solide, de verre, de fer, de cuivre, etc., rend un son, les vibrations peuvent se faire comme dans les cordes, longitudinalement et transversalement; mais les lois auxquelles sont soumises ces dernières ne sont pas les mêmes que celles auxquelles les cordes sont soumises: cet effet vient de ce que, dans les cordes, la tension ne s'exerce que dans un sens, tandis que, dans les verges dont il s'agit, cette force de ressort s'exerce sur la courbure même. Lorsque les vibrations sont longitudinales, elles sont beaucoup plus sensibles que dans les cordes, et les sons qu'elles rendent, d'après Chladni, sont en raison inverse des longueurs, ce qui n'a pas lieu dans les vibrations longitudinales,

puisqu'ils sont en raison inverse des carrés des longueurs.

Il paraît, d'après les expériences de Chladni, que l'épaisseur de la lame n'a aucune influence sur le son produit.

Quand on veut faire vibrer des verges solides, il faut en choisir qui soient droites, également épaisses dans toute leur étendue, et bien homogènes. Lorsqu'on se sert de verges planes, il suffit de les tenir avec les doigts, et de les mettre en vibration à l'aide d'un archet ou d'une tige de métal, avec laquelle on frappe à l'une de leurs extrémités. Au moment où l'ébranlement commence, on entend un son qui n'est pas toujours le même, et qui varie selon que la verge est fixée à ses deux extrémités, ou seulement à son milieu. Une verge en état de vibration se trouve partagée par des nœuds de vibration analogues à ceux que présentent les cordes, et dont on démontre facilement l'existence, en semant du sable fin sur leur surface; on voit alors tous les grains de sable se mouvoir et se rassembler dans les nœuds; les mêmes effets s'observent également sur les verges cylindriques, où les nœuds de vibration sont rendus sensibles par de petits anneaux de papier, que l'on place sur leur surface.

L'expérience montre qu'une verge, qui est partagée par 1, 2, 3, 4, etc., nœuds de vibration, vibre de la même manière qu'une verge qui aurait le $\frac{1}{2}$, le $\frac{2}{3}$ de la longueur totale. Quand la verge est fixée par une extrémité seulement, les sons qu'elle produit pour 1, 2, 3, 4, etc., nœuds de vibration, sont entre eux comme 1, 3, 5, 7, 9, etc.; mais si la verge est libre à ses deux extrémités et fixée seulement à son milieu, il se produit au moins un nœud de vibration, qui se forme au point où elle

est tenue ; si on ne la tenait point fixée à son milieu , il se formerait plusieurs nœuds. Dans ce cas , les sons qu'on obtient pour 1, 2, 3, etc., nœuds de vibration , sont comme les nombres 2, 4, 6, 8, etc. Les verges fixées à leurs extrémités vibrent de la même manière (Chladni).

Les moyens d'exciter dans les verges solides des vibrations longitudinales , et qui ont été employés par M. Savart , dans ses belles expériences sur cette partie de la physique , consistent : 1° à frotter une verge , dans le sens de sa longueur , avec un morceau de drap humide ; 2° à exercer un choc à l'extrémité d'une verge , à l'aide d'un petit cylindre de métal ; 3° à fixer un petit tube de verre très mince , à l'aide d'un peu de mastic , à l'une des extrémités d'une verge , de manière qu'il soit comme le prolongement d'une ligne qui serait parallèle aux deux côtés de la verge , et qui la partagerait en deux parties égales , dans le sens de sa largeur , et à promener sur ce petit tube un morceau de drap mouillé (M. Savart). Le deuxième de ces moyens est le plus simple.

M. Chladni , dans ses recherches sur l'acoustique , a avancé qu'une verge rigide , de matière quelconque , fixée par une de ses extrémités , prend des mouvements analogues à ceux d'un tuyau bouché à l'un de ses bouts. M. Savart , qui a répété cette expérience , n'a jamais pu tirer aucun son quand l'obstacle auquel les verges étaient fixées était immobile ; lorsque cet obstacle était susceptible d'entrer en vibration , les verges résonnaient alors , quelles qu'en fussent d'ailleurs les dimensions ; mais rien n'autorise à comparer le son qui en résulte à celui que rend un tuyau ouvert par un bout.

M. Savart a trouvé que , dans le cas où les deux extrémités d'une verge sont libres , les mouvements qui s'y produisent ont beaucoup d'analogie avec ceux

que donne un tuyau d'orgue ouvert aux deux bouts. Le même physicien a remarqué que la longueur était presque indifférente, pourvu que les verges qui n'ont qu'une petite longueur soient très minces et très étroits.

Lorsqu'une verge est en état de vibration, les limites entre les ondulations sont marquées par des lignes de repos, qu'on a nommées *lignes nodales*; le nombre de ces lignes dépend des dimensions de la verge et de sa nature: une verge contient d'autant plus de lignes nodales, que sa longueur est plus grande et son épaisseur plus petite. Lorsque les lames n'ont que 15 à 20 millimètres de largeur, elles sont droites et parallèles entre elles; mais à mesure que leur largeur dépasse cette limite, les lignes se contournent, et produisent ce que M. Chladni a appelé *lignes tournantes*.

Un fait curieux, et que M. Savart a remarqué, c'est que quand on fait vibrer une verge rigide que l'on tient fixée par son milieu, les lignes nodales des extrémités sont toujours les premières formées, tandis que les autres, c'est-à-dire celles qui doivent se présenter au milieu, se font les dernières, et ne se montrent jamais avec autant de netteté. Ce phénomène ne tiendrait-il pas à la difficulté que les ondulations ont à se propager à travers les substances solides?

Un autre fait, que M. Savart a également observé, c'est que dans le plus grand nombre de cas, les deux moitiés d'une même verge ne renferment pas le même nombre de vibrations, ou de lignes nodales; ce nombre de nœuds, ainsi que leur disposition, est toujours le même pour la même verge, mais il varie de l'une à l'autre, quoiqu'elles aient été prises dans la même plaque, et qu'elles aient les mêmes dimensions.

M. Savart a encore observé que la disposition des lignes nodales n'était pas la même sur les deux faces d'une même lame; il a trouvé que les lignes nodales, qui se forment sur une face, correspondent, chacune au milieu des parties vibrantes de la plaque opposée; cependant il paraît que cette correspondance n'est pas parfaite lorsque les verges sont très minces; mais comme ce phénomène se présente dans toutes les verges rigides, qui ont deux ou trois millimètres d'épaisseur, quelle que soit du reste leur nature, il en résulte que les mouvements vibratoires de l'une des moitiés de l'épaisseur, sont contraires à ceux qui se produisent sur des points correspondants dans l'autre moitié.

Lorsqu'une verge vibre, elle change sensiblement d'épaisseur; pour s'en convaincre, il suffit de prendre une lame de verre un peu épaisse, que l'on tient avec les doigts par le milieu de sa longueur, et l'on sent qu'il se produit, à l'endroit où on la touche, un changement d'épaisseur qui est très sensible, pour peu que l'on prête attention. Ce changement d'épaisseur paraît être occasioné par les condensations apportées par les ondes directes et par les ondes rétrogrades (Savart).

Vibrations des plaques et des membranes.

Lorsqu'on frotte, à l'aide d'un archet, les bords des lames élastiques, il en résulte des mouvements vibratoires très curieux, analogues à ceux que sont susceptibles de prendre les verges et les cordes. Lorsque ces mouvements sont excités dans les plaques et les membranes, les limites des ondulations sont indiquées par des lignes de repos, qu'on a appelées *figures* ou *lignes nodales*.

Ces *lignes nodales* s'observent facilement; en je-

tant du sable fin et sec sur la surface d'une lame élastique en état de vibration, elles produisent ainsi des figures, qui sont tantôt simples et tantôt composées, mais qui présentent une symétrie parfaite. Ces mouvements ont été étudiés avec beaucoup de soin par M. Chladni (*voy.* son *Acoustique*).

Pour faire ces expériences, on se sert de lames de verre bien planes, et également épaisses, que l'on tient le plus souvent entre les doigts, et on frotte leurs bords avec un archet; on use ordinairement les bords des lames de verres, afin qu'ils soient plus doux, et qu'ils ne coupent point les crins qui composent la partie essentielle de l'archet.

Les sons que l'on obtient en faisant vibrer les plaques, dépendent de la nature de la substance, de sa forme, de sa grandeur, de la manière dont elle est fixée, et de la pression de l'archet. Les figures nodales qui en résultent sont très variées; ainsi, les lignes sont tantôt droites, tantôt courbes, et tantôt elles résultent de l'entrecroisement de l'une et de l'autre.

Nous n'entrerons pas ici dans tous les détails que demanderait ce genre d'expériences, nous nous contenterons de rapporter les cas les plus simples. La fig. 115 représente celle que donne le son le plus grave quand les plaques sont carrées, et qu'elles sont de verre, de métal, de bois, ou d'une substance quelconque homogène. Elle s'obtient en pinçant la plaque à son milieu, et la frottant à l'un de ses angles avec un archet.

Le son le plus grave, après le précédent, est représenté par la fig. 116, où l'on voit que les lignes nodales passent par les diagonales. Il s'obtient en pinçant la lame comme précédemment, mais en passant l'archet au milieu de l'un de ses côtés.

Lorsqu'on varie la forme des lames et les points

où l'on applique l'archet, on obtient un grand nombre de figures, qui diffèrent les unes des autres, et que représente la fig. 117.

Le mode de vibration n'est pas le même dans les plaques dont l'élasticité n'est pas égale dans tous les sens; ainsi, dans les disques de bois dont le plan se trouve être parallèle à la direction des fibres, les vibrations que l'on y produit présentent des phénomènes qui tiennent sans doute à ce que la réaction élastique ne se fait pas de la même manière et également dans tous les sens.

Les membranes tendues sont aussi susceptibles de rendre des sons. M. Savart a vu que, pour produire cet effet, il suffit de faire vibrer, à une certaine distance de la membrane, un vase de verre ou une plaque solide, pour qu'aussitôt cette membrane entre en vibration.

Communication des mouvements vibratoires entre les corps solides.

On savait depuis long-temps, que quand un corps en vibration est en contact avec un autre, celui-ci partage le mouvement avec le premier, et vibre de la même manière que lui; mais il était réservé à M. Savart d'étudier la manière dont se fait cette communication. Ses premières recherches sur ce sujet sont exposées dans un mémoire imprimé en 1819, et dont il donna connaissance à l'Académie, dans sa séance du 15 novembre de la même année.

Des travaux de M. Savart il résulte que :

1° Quand deux verges minces sont réunies et placées perpendiculairement entre elles, si l'on excite des vibrations transversales dans l'une, elles donnent lieu à des vibrations longitudinales dans l'autre, et réciproquement. Pour le prouver, M. Savart

s'est servi de l'appareil représenté Fig. 118; il est formé d'une verge de verre v , posée sur une règle de bois b , laquelle est supportée par deux petits tasseaux t , t' , dont l'objet est de séparer la règle et la verge, et d'indiquer les nœuds de vibration de cette dernière; et d'une seconde verge v' , plus courte que la première, unie avec elle de manière qu'elle lui soit perpendiculaire, et qu'elle repose sur une partie vibrante. Quand cet appareil est tenu verticalement, et qu'on met, à l'aide d'un archet, la verge v en état de vibration, on observe, en jetant du sable fin et sec sur la règle v' , qu'elle est le siège de vibrations longitudinales, car alors on voit le sable se mouvoir sur la verge dans le sens de sa longueur, et y former une ou plusieurs lignes nodales, si elle a une longueur suffisante.

Si au lieu de tenir verticalement l'appareil précédent, on le tient horizontalement, et que l'on excite des ondes longitudinales dans la petite verge v' , en promenant sur une de ses faces un doigt mouillé, on voit que le sable dont est recouverte la verge v saute perpendiculairement à la surface sur laquelle il est placé; ce qui montre que les ondes longitudinales, excitées dans la verge v' , donnent lieu à des ondes transversales dans la verge v . D'après cela, on voit que l'on peut communiquer facilement des vibrations déterminées à un corps, sans agir immédiatement sur lui. En effet, MM. Savart et Leblanc ont employé avec succès ce procédé pour faire vibrer des verges longitudinalement, en excitant des vibrations transversales à un tube de verre, qui portait à l'une de ses extrémités une lame de même substance, ou en adaptant à un verre à pied une lame de verre ou de toute autre matière. Ces résultats nous montrent que, dans les violons, la pièce que l'on appelle l'*ame*, et dont l'objet est d'unir les

deux tables de l'instrument, devient le siège de vibrations longitudinales, par sa communication avec la table supérieure, et qu'elle communique des vibrations de cette table à l'inférieure. Alors le son acquiert une plus grande intensité.

2° Quand deux verges minces sont réunies et placées de manière que l'une des deux tombe perpendiculairement sur l'un quelconque des points de l'étendue de l'autre; si l'on excite des ondes longitudinales dans la seconde, la première deviendra le siège de vibrations transversales, et réciproquement.

Pour démontrer cette proposition, on se sert de l'appareil, fig. 119 : il se compose d'une règle, B; en bois, portant à l'une de ses extrémités une rainure, R, perpendiculaire aux faces de la règle, et dont le but est de recevoir une verge de verre, C, qui porte une deuxième verge de verre, A, placée parallèlement à la règle B. C'est sur cette deuxième verge que l'on fixe perpendiculairement à sa surface, et dans un point quelconque de son étendue, la lame A', dont on veut étudier le mode de vibration; cet appareil étant vertical, si on ébranle, à l'aide d'un archet, la verge C, la seconde verge A, devient le siège de vibrations longitudinales, et la verge A', qui se trouve horizontale, devient le siège d'ondes transversales.

3° Quand deux verges minces sont disposées de manière que l'une d'elles tombe perpendiculairement sur l'un des points de l'autre, rendu immobile, si l'on excite des vibrations transversales dans la seconde, la première deviendra aussi le siège de vibrations transversales, et réciproquement; si l'on excite des vibrations transversales dans la première, la deuxième deviendra aussi le siège de vibrations transversales. On prouve cette proposition en se

servant de l'appareil représenté fig. 118, et ayant le soin de placer la verge A' sur l'un des nœuds de la verge A, comme on le voit fig. 120. Dans cet appareil, le point N est rendu immobile par le tasseau C; on tient l'instrument dans la situation verticale, et on jette du sable sur la verge A', puis on excite des vibrations, à l'aide d'un archet, dans la verge A, et alors on voit que la verge A' devient le siège de vibrations transversales.

Ce changement de mode de vibrations, que nous venons de signaler, ne s'effectue que quand les verges sont libres, puisque dans la dernière proposition où le point de contact est rendu immobile par un obstacle, les vibrations transversales que l'on excite dans l'une se transmettent dans l'autre, sans éprouver de changement: cela tient à ce que, dans ce cas, la seconde verge étant placée entre deux parties vibrantes, se trouve ébranlée tantôt à droite, tantôt à gauche, et par là elle exécute les mêmes mouvements que si elle était ébranlée à son extrémité libre. Les vibrations longitudinales ne se communiquent pas d'une verge à l'autre de même que les vibrations transversales, parce qu'une verge fixée par une extrémité ne paraît pas susceptible d'exécuter des vibrations longitudinales. (*Voyez, pour plus de détails, le Mémoire de M. Savart, cité plus haut.*)

Instruments à vent.

Les instruments à vent sont formés de tuyaux de formes variables, et dans lesquels l'air peut être mis en état de vibration suivant le sens de leur longueur, par plusieurs moyens. Une chose remarquable, c'est que la matière, l'épaisseur des tuyaux et leur diamètre, n'influent nullement sur le son produit,

mais seulement la longueur de la colonne d'air, son élasticité, et la manière dont on souffle. Le timbre diffère, suivant que le tuyau est en métal ou en bois, ce qui paraît dépendre du frottement que l'air éprouve entre les parois du tuyau, et même d'une faible résonnance qu'ils sont capables de produire.

On distingue deux sortes d'instruments à vent : ceux à *bouche*, et ceux à *anche*.

L'air est le corps sonore, dans les instruments à bouche, tels que *cor*, *trompette*, *flageolet*, *flûte*, *tuyau d'orgue en flûte*, etc. Leur théorie est tout-à-fait semblable à celle des vibrations longitudinales des cordes.

Dans les instruments à anche, tels que *clarinette*, *tuyaux d'orgues*, *basson*, *hautbois*, etc., on distingue deux parties qui diffèrent essentiellement, l'*anche* et le *tuyau* ou *corps*. L'*anche* se compose (Fig. 121) d'une languette AA', formée d'une feuille de laiton, fixée en A' sur une pièce cylindrique de bois ou de métal A'P, qui est creusée en gouttière dans la direction A'P. On introduit ce système dans une ouverture O, demi-circulaire, pratiquée au centre d'un bouchon B, qui ferme le tuyau *rst*. Lorsqu'on souffle par l'ouverture *o*, l'air tend à entrer dans la gouttière pour s'échapper; mais comme celle-ci est fort petite relativement au diamètre du tuyau *rst*, il arrive que l'air, s'il est poussé avec force, presse la languette contre la gouttière et la ferme, mais elle reprend bientôt, en vertu de son élasticité propre, sa position primitive, permet l'entrée à l'air, et se trouve pressée de nouveau, puis reprend sa première position, et permet de nouveau l'entrée de l'air, et ainsi de suite. Si l'on adapte l'ouverture *o* sur le canal d'un soufflet d'orgue, les oscillations de la languette deviennent assez rapides pour produire un son, qui,

le plus souvent, est rauque et fort désagréable ; alors on ajuste un autre tuyau, dont l'objet est d'augmenter la force des sons, et de les rendre plus doux.

Le ton, plus ou moins élevé, que rend un semblable tuyau, dépend spécialement de la longueur de la languette, à partir du point où elle est fixée, et, en outre, de son élasticité, de son poids, et de sa courbure ; car il arrive qu'en changeant l'un quelconque de ces éléments, on change aussi le ton.

Lorsque le point d'attache de la languette est fixe, ainsi que sa longueur, l'air a besoin, pour l'amener contre la rigole, d'être poussé avec une plus grande force, et cette force devra être d'autant plus considérable, que la languette sera plus éloignée de la gouttière, et comme l'augmentation de cet éloignement rend les battements plus rares, il en résulte que le son produit doit être plus grave. Au contraire, le son est plus aigu, lorsque les choses restant les mêmes, la longueur de la languette seule diminue. On remédie à ces variations de longueur à l'aide d'un gros fil de fer ou de laiton recourbé, *Ff*, que l'on adapte à la languette, et qui la presse par sa force de ressort contre la gouttière ; ce fil, que l'on appelle *rasette*, a pour objet d'allonger ou de diminuer la longueur de la languette, et par là de rendre le son plus grave ou plus aigu.

Ces anches rendent toujours un son rauque, causé par le frottement de la languette contre la substance de la gouttière. Pour remédier à ce grave inconvénient, M. Grenié fait la rigole ou gouttière en bois ou en cuivre, mais à arêtes vives, et il lui donne la forme de parallépipède ; la languette est en cuivre jaune, très plane, et coupée en forme de rectangle, pour qu'elle remplisse presque exactement la face creusée de la gouttière, et, à l'aide d'une forte rasette, il la fixe à volonté. De cette ma-

nière, la languette entre dans la gouttière, et ne frappe plus contre la matière dont celle-ci est formée, mais contre l'air lui-même, en sorte que le son est très doux, très pur, et beaucoup plus harmonieux.

Organe de l'ouïe.

L'organe de l'ouïe, chez l'homme, présente à l'extérieur un pavillon évasé comme celui du cornet acoustique. Ce pavillon se rétrécit peu à peu en une espèce de tuyau, appelé *conduit auditif*, lequel est revêtu d'une matière visqueuse et de poils, dont l'objet paraît être d'en défendre l'entrée aux corps étrangers. Le fond du conduit auditif est fermé par une membrane sèche, tendue, élastique, mince, et d'une épaisseur uniforme. Derrière cette membrane est la *caisse du tympan*, qui renferme quatre osselets, savoir : le *marteau*, l'*enclume*, le *lenticulaire* et l'*étrier*. Ces osselets s'emboîtent les uns dans les autres, et forment une chaîne continue, depuis la membrane du tympan où s'attache le *marteau*, jusqu'à la *fenêtre ovale* où est fixé l'*étrier*. La fenêtre ovale est un trou oblong, pratiqué au fond de la caisse du tympan, et qui est recouvert par une membrane. Ce trou s'ouvre dans un canal osseux appelé *limaçon*, parce qu'il est contourné en spirale; il aboutit à une cavité extérieure plus grande appelée *vestibule*, laquelle communique avec la caisse du tympan par un autre trou qui porte le nom de *fenêtre ronde*, et qui est fermé par une membrane sèche.

Au vestibule aboutissent trois cavités cylindroïdes, contournées en demi-cercles, qui renferment des corps de couleur grisâtre, et qui se terminent à leur extrémité par des renflements. Ce sont ces trois ca-

naux qui, avec le limaçon et le vestibule, forment, par leur ensemble, une cavité dans la partie la plus solide de la matière osseuse, que l'on a appelée *labyrinthe*. Le labyrinthe est tapissé, à l'intérieur, d'une membrane excessivement mince, et est remplie par un liquide dans lequel pénètre et va s'épanouir le *nerf acoustique*.

Telle est, d'une manière générale, la disposition des différentes parties de l'organe de l'ouïe. D'après cela, il est possible de concevoir que les ondulations sonores, venant à frapper la membrane du tympan, se trouvent transmises par l'air et par la chaîne que forment les quatre osselets aux parois du labyrinthe, et de là, par l'intermédiaire du liquide, jusqu'au nerf acoustique.

Dans l'organe de l'ouïe, la membrane du tympan peut être détruite, et les trois premiers osselets détachés, sans que la faculté d'entendre soit détruite, pourvu, toutefois, que la membrane qui ferme la fenêtre ronde subsiste, et que l'étrier qui ferme le labyrinthe reste appliqué contre la fenêtre ovale qu'il est destiné à fermer; car s'il tombe, la membrane qui bouche le labyrinthe se rompt, de manière à laisser écouler le liquide que cette cavité renferme; et la surdité en est toujours le résultat. D'où l'on voit que l'existence du nerf acoustique, son épanouissement dans un liquide, à l'aide duquel les vibrations sonores se propagent, et la pulpe nerveuse qui le forme, sont les seules conditions que nécessite l'audition.

Organe de la voix.

Cet organe ne se rencontre que dans les animaux à poumons, les mammifères, les oiseaux et les reptiles.

Dans l'homme, la voix se forme de l'air contenu dans la poitrine, d'où il est chassé par les muscles de l'expiration. A cet effet, l'air inspiré par le poumon et contenu dans la poitrine, en est chassé par la contraction qu'éprouvent ces cavités, passe dans un conduit appelé *trachée-artère*, qui est formé d'anneaux cartilagineux et flexibles. A l'extrémité de ce canal sont deux lames membraneuses, tendues et de forme rectangulaire, dont trois des bords sont fixés aux parois mêmes de la trachée-artère, et dont les plans sont placés presque parallèlement l'un à l'autre, et à une petite distance. Alors l'air, chassé de la poitrine avant de s'échapper par la bouche, est forcé de passer par l'intervalle que laissent entre elles les lames. Ce système de deux membranes, qui peut être assimilé à une anche, dont les lames seraient contractiles et élastiques, a reçu le nom de *glotte*, tandis que le lieu de la trachée où cet appareil est placé, ainsi que les pièces qui l'accompagnent, s'appellent *le larynx*. On a nommé *épiglotte* une membrane ovale, élastique, ressemblant à une langue qui, fixée par sa base, serait susceptible de prendre dans la trachée divers mouvements, en s'élevant ou en s'abaissant sur la glotte, pour modifier la vitesse de l'air qui en sort. Cette membrane vibre en même temps que la glotte; et comme l'air, après avoir dépassé l'épiglotte, ne trouve plus d'obstacle, il arrive dans le gosier, et enfin dans la bouche, pour s'échapper au dehors.

D'après cet exposé succinct on peut voir, avec quelque évidence, que l'organe de la voix ne peut être comparé qu'à un instrument à anche libre, dans lequel la poitrine sert de soufflet, la trachée-artère de porte-vent, la glotte d'anche, et la bouche de canal par où l'air doit s'échapper.

Les sons se trouvent modifiés dans les cavités de

la bouche et des narines : ainsi la concavité de celles-ci, chez l'homme, influe plus que la bouche pour l'agrément de la voix, qui est sourde et fort désagréable quand on se bouche le nez, ou quand on est affecté des maladies qu'on appelle ridiculement rhumes de cerveau. Dans ce cas, la voix est désagréable, et l'on dit d'une personne qu'elle parle du nez, tandis que c'est le contraire.

Chez les mammifères et les reptiles, il n'y a qu'une seule glotte, qui est placée vers le point où la trachée-artère vient se terminer dans la bouche.

Chez les oiseaux, l'organe de la voix est plus compliqué; ainsi, dans la classe qui renferme des chanteurs, la glotte est située à la sortie des poumons, et à l'origine de la trachée artère. Et ce qui montre à l'évidence que l'instrument vocal est une anche, c'est que, si l'on coupe assez loin de la tête, comme l'a fait le baron Cuvier, le cou à un oiseau criard, il crie encore quelques instants. (*Voyez, pour plus de détails, les Leçons d'anatomie de Cuvier.*)

CHAPITRE X.

CHALEUR.

Le calorique ou la chaleur, suivant quelques physiciens, est un fluide très subtil, invisible, impondérable, répandu de toutes parts dans l'espace. L'action du calorique se manifeste dans tous les sens, à travers la matière des corps, et diminue à mesure que la distance augmente.

Le calorique fait changer le volume des corps; il les dilate en s'y accumulant, et les fait contracter en se retirant. Le calorique s'échappe des corps sous la forme de rayons; ainsi, quand deux corps sont inégalement chauds, le plus froid reçoit, de la part du plus chaud, des rayons de chaleur, jusqu'à ce qu'il y ait entre eux équilibre de température.

Les instruments destinés à mesurer la température des corps, s'appellent *thermomètres*, c'est-à-dire *mesureurs de la chaleur*. L'invention du thermomètre date de la fin du seizième siècle: les uns l'attribuent à Nicolas Drebbel, les autres à Sanctorius ou au père Paul, d'autres encore attribuent cette découverte à Galilée ou à Descartes. Quoi qu'il en soit, le thermomètre consiste en un tube très long, portant une boule très mince à l'une de ses extrémités, et dans lequel une petite colonne d'alcool coloré, que l'on place vers le milieu du tube, sert

d'index. La colonne liquide monte ou descend, selon que l'air qui est renfermé dans la boule se dilate ou se contracte par l'effet même de la chaleur.

Le thermomètre qu'on emploie aujourd'hui se compose d'un tube dont le diamètre intérieur est très fin et très exactement cylindrique, fermé à l'un de ses bouts, et terminé à l'autre par un réservoir cylindrique ou par une boule très mince, remplie, ainsi qu'une partie du tube, de vif-argent (mercure) bien pur et bouilli. Des divisions ou degrés sont tracés sur la tige même de l'instrument, ou sur une tringle de métal, ou bien encore sur une bande de papier renfermée dans un tube de verre, que l'on soude au thermomètre.

Construction du thermomètre à mercure.

On commence par se procurer un tube, dont le diamètre intérieur soit très cylindrique et très fin, puis l'on souffle à la lampe d'émailleur une boule à l'une de ses extrémités (fig. 122). On laisse refroidir le tube thermométrique, et ensuite on le promène sur des charbons ardents, afin d'expulser l'humidité et une portion de l'air contenu dans la boule et dans le tube. Cela fait, on renverse le tube, en plongeant son extrémité ouverte dans un vase contenant du mercure chaud, que l'on a préalablement fait bouillir. A mesure que la boule se refroidit, le mercure monte dans l'intérieur du tube, arrive dans la boule et la remplit en partie; alors on ôte le tube en le retournant, de manière à ce que la boule se trouve en bas. On chauffe de nouveau cette boule, et on la chauffe au point de faire bouillir le mercure; une fois le mercure entré en ébullition, il se vaporise, sa vapeur chasse l'air qui était resté dans

le tube, et enfin, lorsqu'il n'y a plus ni vapeur aqueuse ni air, ce que l'on reconnaît quand la vapeur mercurielle s'échappe en se condensant à l'extrémité du tube, on ôte subitement l'appareil du feu, et on plonge aussitôt l'extrémité ouverte dans le mercure chaud; quelques instants suffisent pour remplir totalement la boule, mais on laisse ainsi l'instrument jusqu'à ce qu'il soit sensiblement froid. On s'arrange ensuite pour que le mercure dans le tube ne descende pas très bas; il faut que le sommet de la colonne de mercure dans le tube, soit à trois ou quatre pouces du réservoir, ce qui dépend toutefois de la sensibilité de l'instrument, et du degré de froid qu'on veut lui permettre d'indiquer.

On ferme le tube, en ayant soin de chasser l'air qui se trouve dans son intérieur au-dessus de la colonne de mercure. A cet effet, on effile l'extrémité du tube à la lampe d'émailleur; on chauffe ensuite la boule, afin que le mercure monte jusqu'au sommet; arrivé à ce point, et à l'instant où il commence à sortir, on ferme le tube en dirigeant le dard d'un chalumeau sur le bout effilé.

Il s'agit maintenant de graduer l'instrument; mais pour qu'il soit comparable à lui-même, il faut compter les divisions à l'aide de points fixes que l'on puisse se procurer dans tous les temps et dans tous les lieux où il s'agit de faire des observations. Ces points fixes sont la température de la glace fondante et celle de l'eau bouillante.

On plonge le tube thermométrique dans de la glace fondante, en ayant soin que la boule et la colonne de mercure dans le tube soient entourées de glace fondante. On marque sur le tube, avec un diamant, l'endroit précis où la colonne reste stationnaire; ce point est le premier terme fixe de l'échelle, c'est le *zéro* du thermomètre. On plonge

ensuite le tube thermométrique dans l'eau bouillante, et l'on marque 100 au point où s'arrête le sommet de la colonne; c'est le deuxième terme fixe de l'échelle. Il faut que l'eau dont on se sert soit très pure, et, en outre, que le vase soit de métal; de plus, il faut que la hauteur de la colonne barométrique, à l'instant où l'on opère, soit de $0^m,76$, car l'eau ne bout à 100° qu'autant que le baromètre marque $0^m,76$. Quand la pression est différente de $0^m,76$, on connaît la température qui lui correspond, ce qui permet, à l'aide du calcul, de ramener le point d'ébullition à la pression ordinaire.

On divise l'intervalle compris entre les deux termes fixes, en 100 parties égales, que l'on prolonge au-dessus du terme de l'eau bouillante, et au-dessous du terme de la glace fondante.

Le thermomètre que nous venons de décrire est celui qu'on connaît sous le nom de *thermomètre centigrade*.

Le *thermomètre de Réaumur* est divisé en 80 parties, depuis le terme du zéro de la glace fondante, jusqu'à celui de l'eau bouillante. Ces deux thermomètres sont les seuls dont on se serve en France.

En Angleterre, on se sert d'un thermomètre imaginé par *Fahrenheit*, où l'intervalle entre les deux points fixes est divisé en 212 parties. Le zéro du thermomètre centigrade correspond au 32° degré du thermomètre de Fahrenheit, et le terme 100 au 212° degré du même thermomètre.

Dans le *thermomètre de Delisle*, l'échelle est divisée en 150 parties: le terme de l'eau bouillante est marqué zéro, et le zéro du thermomètre centigrade correspond au 150° degré de cette échelle.

Il est très facile de comparer entre eux les degrés

de ces divers thermomètres. Comparés aux degrés centigrades on a :

1 deg. centig. : 1 deg. Réaumur :: 80 : 100 :: 4 : 5, donc un degré centigrade = $\frac{4}{5}$ degré de Réaumur ;
 1 deg. centig. : 1 deg. Fahr. :: 180 : 100 :: 9 : 5, donc 1 deg. cent. = $\frac{5}{9}$ degré de Fahrenheit ; 1 deg. cent. : 1 deg. Delisle :: 150 : 100 :: 2 : 3 ; donc 1 deg. centigrade = $\frac{2}{3}$ de Delisle.

D'après cela, on voit que pour convertir un nombre donné de degrés du thermomètre de Réaumur en degrés centigrades, il faut multiplier ce nombre par $\frac{4}{5}$.

De même, pour convertir un nombre quelconque de degrés Fahrenheit en degrés centigrades, il faut en retrancher 32, et multiplier le résultat par $\frac{5}{9}$.

Il en est de même pour le thermomètre de Delisle : on multiplie le nombre de degrés par $\frac{2}{3}$, seulement, comme l'échelle est descendante, on les retranche ensuite de 100 afin d'avoir des degrés centigrades.

Thermomètre à air.

Ce thermomètre se compose (Fig. 123) d'un tube terminé à l'un de ses bouts par une boule; cette boule est remplie d'air sec; une petite colonne de mercure que l'on introduit dans le tube sert d'index. Ce thermomètre est le plus exact que nous ayons à notre disposition; mais sa grande sensibilité fait qu'on lui préfère le thermomètre à mercure. La dilatation des gaz étant uniforme pour chaque degré de température, du moins tant qu'elle n'est pas très élevée, M. Gay-Lussac a comparé la mar-

che du thermomètre à mercure à celle du thermomètre à air ; il a trouvé que leur marche s'accordait exactement entre 0° et 100° , mais que passé ce terme, le mercure ne se dilatait pas uniformément.

Thermomètre différentiel de Leslie.

Ce thermomètre est un tube , aux extrémités duquel on souffle deux boules exactement de même grosseur ; on donne à ce tube la forme de la lettre U (Fig. 124). Une colonne d'acide sulfurique teint en rouge intercepte la communication à l'air d'une boule à l'autre. Cet acide occupe toute la branche horizontale, et s'élève jusqu'à une certaine hauteur , qui doit être la même dans les deux branches verticales. Si les deux boules sont à la même température , les deux colonnes verticales resteront au même niveau ; mais si la température de l'une d'elles vient à changer , à augmenter , par exemple , la colonne d'acide sulfurique marchera vers la boule la plus froide.

Thermoscope du comte de Rumfort.

C'est le thermomètre de Leslie , avec des dimensions beaucoup plus grandes ; la colonne liquide a quelques lignes de longueur , et est placée au milieu de la branche horizontale. Ce thermoscope est très sensible ; il suffit de mettre la main à quelques pieds de distance de l'une des boules , pour qu'à l'instant la colonne liquide marche de plusieurs lignes vers la boule opposée.

§ I^{er}.

DILATATIONS.

Dilatation des corps solides.

D'après l'hypothèse de ceux qui admettent l'existence du calorique comme fluide particulier, tous les corps soumis à l'action du calorique augmentent de volume, à mesure que cet agent s'accumule dans les intervalles que laissent entre eux les atomes qui composent ces corps. Ainsi, pour en donner un exemple, que l'on prenne une barre métallique, qu'on la mesure avec un grand soin, qu'on la chauffe ensuite en la jetant dans un foyer ardent, et qu'après l'avoir retirée, on la mesure de nouveau, on trouvera que sa longueur s'est accrue d'une quantité très notable. Cette barre en se refroidissant reviendra à sa longueur primitive, lorsqu'elle aura repris la température qu'elle avait avant l'expérience.

Si, au lieu de chauffer les corps, on les refroidit, ils se contractent, et si on les refroidit de plus en plus, ils se contractent continuellement.

Le dilatation des corps solides est très faible; ce qui suppose que la cohésion qui s'exerce entre leurs particules est très grande, et s'oppose à l'action du calorique, qui tend à éloigner ces mêmes particules. MM. Dulong et Petit ont démontré que la dilatation des corps solides est uniforme, entre 0 et 100°; que passé ce point elle n'est plus uniforme, qu'elle croît avec la température, en sorte que la dilatation est plus grande pour chaque degré entre 100° et 200°, qu'entre 0 et 100°; elle est d'autant plus grande que les corps sont plus près du point de fusion, où la dilatation est à son maximum.

MM. Lavoisier et Laplace ont recherché les dilata-tions d'un grand nombre de corps solides, entre 0° et 100°; ils ont observé que les corps qui composent le tableau suivant, se dilataient pour chaque degré du thermomètre centigrade, de la manière suivante :

DÉNOMINATION DES SUBSTANCES.	DILATATION pour une règle dont la long. est à la température de la glace fondante.	
	De 0 à 100°.	Pour 1 degré centigr.
Mercure..	0,00600601	$\frac{1}{16650}$
Plomb.	0,00284836	$\frac{1}{35108}$
Etain de Falmouth.	0,00217298	$\frac{1}{46161}$
Etain des Indes ou de Mélac.. . . .	0,00193765	$\frac{1}{51609}$
Argent de coupelle.	0,00190974	$\frac{1}{52353}$
Argent au titre de Paris.	0,00190868	$\frac{1}{52392}$
Cuivre jaune.	0,00187821	$\frac{1}{53215}$
Cuivre.	0,00171733	$\frac{1}{58231}$
Or au titre de Paris, non recuit. . . .	0,00155155	$\frac{1}{64452}$
Or de départ.	0,00146606	$\frac{1}{68202}$
Acier trempé jaune, recuit à 65°. . . .	0,00123956	$\frac{1}{80674}$
Fer rond passé à la filière.. . . .	0,00123504	$\frac{1}{81157}$
Fer doux forgé.	0,00122045	$\frac{1}{81937}$
Acier non trempé.. . . .	0,00107912	$\frac{1}{92664}$
Verre sans plomb, en tube.	0,00087572	$\frac{1}{114191}$
Verr e de France avec plomb.	0,00087199	$\frac{1}{114680}$
Platine (selon Borda).	0,00085655	$\frac{1}{116748}$
Flint-glass anglais.	0,00081166	$\frac{1}{124834}$

Maintenant que nous connaissons la dilatation des corps solides métalliques, dont l'importance est très grande, sur-tout dans les arts où l'on a continuellement besoin de connaître celle de certains métaux, nous allons indiquer quelques applications où cette propriété est mise à profit.

Pendule compensateur.

La mesure de la dilatation des métaux est employée avec succès pour corriger les variations de longueur que prennent les verges des horloges à pendule, par la diminution ou l'augmentation de température; car on sait que la marche de ces horloges est très irrégulière quand le pendule n'est formé que d'un seul métal. Ce pendule est composé d'une tige métallique, terminée inférieurement par une lentille d'un métal très pesant, qui est suspendue par l'extrémité supérieure et de manière à pouvoir librement osciller. Si cet appareil, qui est le régulateur de l'horloge, vient à s'allonger, ses oscillations deviennent plus lentes, et l'horloge retarde; au contraire, s'il devient plus court par l'abaissement de température, l'horloge avance.

Pour remédier à cette irrégularité, que la chaleur produit dans la marche des horloges, on construit les pendules de la manière suivante: ABCD (Fig. 125) est un châssis en fer; LC une lame de cuivre à laquelle sont réunies deux tiges pareillement en cuivre, soudées fortement sur la tringle en fer BC du premier châssis. La verge VP est en fer, fixée au point V du châssis en cuivre, et peut glisser dans la traverse BC.

Maintenant, si la température d'un pareil système

vient à varier, à augmenter, par exemple, les tringles en fer du premier châssis, ainsi que la verge VP, s'allongeront; mais les tringles de cuivre, venant aussi à se dilater dans une proportion plus grande que les tiges en fer, feront remonter la verge, c'est-à-dire que, si la compensation est exacte, la lentille P sera ramenée à la même distance du point de suspension qu'avant le changement de température.

Ce système de deux châssis ne suffit pas pour compenser exactement, parce que la différence de dilatation entre les deux métaux employés n'est pas assez grande; mais on peut, en multipliant les châssis (Fig. 126), obtenir une compensation parfaite.

On est parvenu aussi à régler la marche des chronomètres, en opposant toujours la dilatation à elle-même; mais au lieu d'employer des tiges, on fait usage de lames métalliques. On prend une lame de fer et une lame de cuivre d'égales dimensions, que l'on place l'une sur l'autre en les fixant par de petites vis. Ces lames sont droites à la température à laquelle on les a fixées (Fig. 127); mais si la température vient à changer, elles se courbent. La température devient-elle plus grande? elles se courbent de manière que le fer, dont la dilatation est moins considérable que celle du cuivre pour un nombre égal de degrés, est en dedans (Fig. 128), et le cuivre en dehors de la concavité; le contraire aura lieu si la température s'abaisse (Fig. 129).

Si l'on adapte ce système à la tige d'un pendule (Fig. 130), on conçoit qu'il est possible d'établir une compensation exacte, en combinant la longueur des lames et le poids de petites masses que l'on visse à leurs extrémités, afin que la distance du point de suspension, au centre de gravité du système, soit toujours la même.

On sait que dans les montres, le régulateur du mouvement est un balancier ABD, mu par un ressort spiral SR (Fig. 131). Si la température de cet appareil vient à varier, le balancier ainsi que le spiral changent de dimensions, et par là altèrent la durée des oscillations. On remédie à cet inconvénient en fixant au balancier des lames compensatrices, CP, C'P', semblables à celles que nous venons de décrire, mais courbées d'avance. Les extrémités de ces lames sont terminées par des vis, et portent de petites masses d'or. De cette manière, on est parvenu à obtenir une compensation telle, que les montres munies de lames compensatrices sont tout-à-fait exemptes de variations.

Thermomètre de Bréguet.

M. Bréguet a construit, avec des lames compensatrices, un thermomètre qui est d'une sensibilité étonnante (Fig. 132). Il est formé de trois métaux, d'argent, d'or et de platine, réduits par le laminage en lames très minces, dont l'épaisseur est de $\frac{1}{100}$ de ligne. Ces lames sont unies ensemble par la pression, et on leur donne la forme d'une spirale. Cette spirale est attachée à un support fixé par sa partie supérieure, et sa partie inférieure porte une aiguille horizontale, que l'on équilibre avec un contre-poids. Cette aiguille parcourt un cadran horizontal, sur lequel des divisions sont tracées. Lorsque ce thermomètre est dans un lieu dont la température est constante, il se met à la même température, en prenant le degré d'allongement qui convient aux lames; mais si la température vient à changer, à l'instant

même les spirales se tordent ou se détordent, et l'aiguille marche aussitôt.

Dans cet instrument, pour des changements de température égaux, l'aiguille parcourt des espaces égaux, ce qui le rend comparable à lui-même, ou avec les instruments construits sur le même principe.

Pyromètre de Wedgwood.

Le principe sur lequel est fondé ce pyromètre dépend de la propriété que possède l'argile de prendre du *retrait*, c'est-à-dire de diminuer de volume, quand on élève sa température. La cause du retrait n'est pas bien connue, mais il est très probable que cette diminution de volume est due à la combinaison intime des éléments de l'argile, à mesure qu'on élève sa température, et non pas à la perte de son eau, comme on le pense généralement. Cette dernière cause ne peut avoir d'influence que pour de basses températures et nullement pour des températures plus élevées.

Le pyromètre de Wedgwood se compose du cylindre d'argile dont on veut éprouver le retrait, et de deux règles en cuivre ou en laiton, légèrement inclinées l'une vers l'autre, et soudées sur une plaque de même métal; cette deuxième pièce du pyromètre porte le nom de *jauge*. Les règles ont de longueur 609,592 millimètres, et forment un canal dont le diamètre, à son extrémité la plus large, est de 12,7 millimètres, et seulement de 7,62 millimètres à son autre extrémité. L'une des règles est divisée, dans toute sa longueur, en 240 parties égales, que l'on appelle *degrés du pyromètre de Wedgwood*; le zéro de l'échelle est situé à l'extrémité la plus large. On rend l'instrument portatif en le coupant en deux, comme on peut voir (Fig. 133).

Les cylindres d'argile ont 12,7 millimètres de diamètre, et 14 à 15 millimètres de longueur; ils doivent être cuits à la chaleur rouge, et être juste de grandeur pour se tenir au zéro de la division.

Le zéro de cet instrument correspond à 580°,55 du thermomètre centigrade, mais il est évident que, pour comparer les degrés qu'il donne aux degrés centigrades, il faudrait connaître la température qui est nécessaire pour réduire les cylindres d'argile de manière à les faire aboutir aux divisions successives; or, c'est ce qui n'est pas; et il n'est pas vrai de dire que 1° de ce pyromètre vaut 72° centésimaux, puisque nous n'avons aucun moyen précis de comparer entre elles les indications que nous fournissent ces instruments.

Dilatation des liquides.

La dilatation des liquides est bien plus considérable, à température égale, que celle des corps solides; elle est d'autant plus grande, que le liquide approche davantage du point d'ébullition. On n'observe aucune loi dans les résultats.

Que l'on construise plusieurs thermomètres avec des liquides différents, qu'on les chauffe de la même manière en les plongeant dans de l'eau dont on élèvera graduellement la température, on verra que la marche de ces divers thermomètres n'est pas la même, comme on peut s'en convaincre en jetant les yeux sur le tableau suivant, qui a été dressé par Deluc (*Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, p. 271).

Mercure.	Huile d'olive.	Huile essentielle de camomille.	Huile essentielle de thym.	Alcool.	Eau saturée de sel marin.	Eau.
80°	80°	80°	80° _{0,3}	80°	80°	80°
75	74,6	74,7	74,8	73,8	74,1	74
70	69,4	69,5	68,5	67,8	68,4	62
65	64,4	64,3	63,3	61,9	62,6	53,5
60	59,3	59,4	58,3	56,2	57,1	45,8
55	54,2	53,9	53,3	50,7	51,7	38,5
50	49,2	48,8	48,4	45,3	46,6	32,0
45	44,0	43,6	43,4	40,2	41,2	26,1
40	39,2	38,6	38,5	35,1	36,3	20,5
35	34,2	33,6	33,6	30,3	31,3	15,9
30	29,3	28,7	28	25,6	26,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,0	21,9	7,3
20	19,3	18,9	19,0	16,5	17,3	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,2	12,8	1,6
10	9,5	9,3	9,4	7,9	8,4	0,2
5	4,7	4,6	4,7	3,9	4,2	0,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- 5	...	...	...	- 3,9	- 4,1	...
- 10	...	...	...	- 7,7	- 8,4	...

Ce tableau nous montre que la marche des thermomètres, construits avec l'huile d'olive, les huiles essentielles de camomille et de thym, diffère de celle du thermomètre à mercure, mais que cette différence est beaucoup plus grande pour l'alcool et l'eau pure.

Le mercure est, de tous les liquides, celui dont la dilatation est la plus uniforme; aussi s'en sert-on de préférence pour la construction des thermomètres. D'après les expériences de MM. Petit et Dulong, sa dilatation absolue est de $\frac{1}{5550}$ de son volume à zéro pour chaque degré centigrade, entre la température de la glace fondante et celle de l'eau bouillante.

La dilatation de l'eau offre une particularité remarquable, celle de diminuer de volume jusqu'à

une certaine température, au-delà de laquelle ce volume augmente comme celui des autres corps. Ainsi l'eau à zéro se condense jusqu'à ce qu'elle ait atteint la température $4^{\circ}, 1$, qui est son maximum de densité, et se dilate ensuite à mesure qu'on la chauffe davantage.

Dilatation des gaz.

La dilatation des gaz est uniforme et parfaitement égale pour chaque degré du thermomètre. Cela tient sans doute à ce que, dans ces corps, la cohésion est tout-à-fait nulle, et que rien ne s'oppose à l'action du calorique.

Non-seulement la dilatation des gaz permanents est uniforme pour chaque degré du thermomètre, mais cette même loi s'applique également à toutes les vapeurs, tant qu'elles ne repassent point à l'état liquide, comme il résulte des expériences de M. Gay-Lussac. D'après ce physicien, un gaz permanent, quelle que soit sa nature, et ceci s'applique également à la vapeur d'un liquide quelconque, se dilate, pour un degré du thermomètre centigrade, de $0,00375$ de son volume primitif à zéro, ou de $0,375$ de 0° à 100° , la pression restant la même.

Ces résultats ont été confirmés par M. Dalton, physicien anglais, qui s'occupait, presque dans le même temps que M. Gay-Lussac, de rechercher les changements de volume qui surviennent aux gaz par l'action du calorique. D'après M. Dalton, l'augmentation du volume d'un gaz, pour un degré, serait $0,00372$, ce qui diffère un peu du nombre obtenu par M. Gay-Lussac; mais la quantité $0,00375$ nous paraît plus exacte; d'ailleurs, elle avait été annoncée, il y a quelques années, par M. Charles, pour les gaz qui ne se dissolvent pas dans l'eau.

§ II.

DE LA CONDUCTIBILITÉ.

La conductibilité des corps pour la chaleur est la faculté plus ou moins grande qu'ils ont de laisser passer la chaleur d'une molécule aux molécules voisines. Ainsi, quand on chauffe une barre métallique par un de ses bouts, l'autre bout est chaud quelques instants après. C'est qu'alors le calorique se communique de molécule à molécule, jusqu'à ce qu'il arrive à l'autre extrémité.

Conductibilité des corps solides.

Tous les corps solides n'ont pas le même degré de conductibilité; ainsi le bois, le charbon, etc., sont très mauvais conducteurs du calorique.

Un Anglais, Inghenouz, a imaginé un appareil au moyen duquel on peut mesurer la conductibilité des corps pour la chaleur. Cet appareil se compose d'une caisse métallique (Fig. 134), portant à l'une de ses parois des cylindres de différentes substances, que l'on recouvre d'une légère couche de cire d'abeille. On verse de l'eau bouillante dans la caisse, et on juge de la conductibilité des corps soumis à l'expérience par les longueurs de cire fondue. En opérant ainsi, on trouve que les métaux sont, parmi les corps solides, ceux qui ont la plus grande faculté conductrice, mais qu'ils ne la possèdent pas tous au même degré. Ainsi l'argent, le cuivre, conduisent mieux la chaleur que le fer, le plomb, etc., et ceux-ci la conduisent encore mieux que le platine, qui est, parmi les métaux, un des plus mauvais conducteurs. Les substances minérales, végétales

et animales sont très mauvais conducteurs de la chaleur.

Conductibilité des corps liquides.

Jusqu'à présent on n'a pas encore déterminé la faculté conductrice des liquides, on sait seulement qu'ils sont très mauvais conducteurs; car si on chauffe un liquide par sa partie supérieure, il n'y a que la couche en contact avec la source de chaleur qui s'échauffe: il est vrai que la masse finira par s'échauffer un peu, mais cela tient à un autre phénomène; c'est le calorique rayonnant qui, en traversant la masse, en enlève un peu la température.

Conductibilité des corps gazeux.

Rien de précis sur la conductibilité des gaz; on présume qu'ils sont encore plus mauvais conducteurs de la chaleur que les liquides; il paraît aussi que plus ils sont dilatés, plus ils sont mauvais conducteurs.

Cependant si l'on chauffe un gaz, on observe que ce gaz s'échauffe considérablement, mais cela tient à la grande mobilité de ses molécules, à la conductibilité plus ou moins grande du vase que l'on emploie, et enfin au calorique rayonnant qui s'insinue dans les intervalles que laissent entre eux les atomes qui composent ce gaz.

§ III.

CALORIQUE RAYONNANT.

Nous avons déjà dit que le calorique s'échappe de la surface des corps chauds sous forme de rayons : on peut s'en convaincre en plaçant la main à quelque distance d'un corps chaud : on éprouve alors une sensation de chaleur qui est produite par les rayons calorifiques qui ont frappé la main. Ces rayons ont la propriété de se réfléchir à la surface des corps polis, en faisant l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion. Si l'on place vis-à-vis l'un de l'autre, et à la distance de 4 à 5 mètres, deux miroirs concaves (Fig. 135), de manière que leurs concavités soient en regard, et que leurs axes soient sur une même ligne ; qu'au foyer de l'un d'eux on place un corps combustible, de l'amadou, par exemple, et qu'au foyer de l'autre on mette un boulet rouge ou des charbons ardents, on verra l'amadou s'enflammer et brûler avec rapidité, bien qu'il soit à une grande distance du corps chaud.

Dans cette expérience, il faut concevoir que le corps chaud, placé au foyer du premier miroir, lance continuellement des rayons de chaleur sur ce miroir ; que ces rayons se réfléchissent parallèlement à l'axe, en faisant l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion, s'en vont tomber sur le deuxième miroir, s'y réfléchissent de la même manière que sur le premier, en concourant tous en un point F, qu'on appelle foyer. C'est à ce foyer, où se fait la réunion de tous les rayons qui tombent sur le deuxième miroir, que l'on place le corps à enflammer.

Dans l'expérience précédente, on peut remplacer le corps chaud par un morceau de glace, et mettre

un thermomètre au foyer du deuxième miroir; après quelques secondes, on voit le thermomètre descendre de plusieurs degrés. D'où quelques physiciens ont pensé qu'il existait des rayons de froid, qu'ils appelaient rayons frigorifiques, qui, en se réunissant au foyer du deuxième miroir, refroidissaient le thermomètre. Ceci est une fausse explication; car le thermomètre étant le corps le plus chaud, doit perdre du calorique, jusqu'à ce qu'entre la glace et lui il y ait équilibre de température.

Du pouvoir rayonnant des corps.

Le pouvoir rayonnant des corps varie avec l'état de la surface, la température étant la même. D'où l'on voit que tous les corps doivent avoir des pouvoirs rayonnants différents. C'est en effet ce que l'expérience montre, et ce qu'ont démontré MM. Leslie et Rumfort, qui ont fait sur ce sujet un grand nombre d'expériences.

Le moyen qu'on emploie pour ce genre d'expériences a été employé avec succès par M. Leslie: il consiste à prendre un cube creux, dont les faces soient de substances différentes, que l'on remplit d'eau bouillante; à plonger un thermomètre dans ce cube pour indiquer à chaque instant la température de l'appareil.

M. Leslie met ce cube à la distance de trois pieds d'un miroir métallique, au foyer duquel il a placé d'avance l'une des boules de son thermomètre différentiel; il nomme cette boule, *focale*. M. Leslie observe l'effet que produit l'une des faces du cube sur son thermomètre, puis il en présente une autre et ainsi de suite, en observant exactement la marche de son thermomètre à mesure que les faces sont changées. De cette manière il fait d'autres expériences

avec un cube, dont les surfaces sont différentes de celles du premier, et il note l'effet que produit chaque surface, en regardant son thermomètre.

Dans ces expériences, le miroir qui réfléchit les rayons calorifiques, et l'air lui-même, absorbent bien une partie des rayons, mais on peut faire abstraction de cette faible quantité de chaleur absorbée. La table suivante indique le pouvoir rayonnant de diverses substances, en exprimant par 100 le plus grand effet.

	Pouvoirs rayonnants.
Noir de fumée	100
Eau	100
Papier blanc	98
Crown-glass	90
Encre de Chine	88
Eau glacée	85
Mercure	20
Plomb brillant	19
Fer poli	15
Étain, cuivre, argent, or.	12

Pouvoir absorbant des corps.

Quand les rayons de chaleur tombent sur des corps dont la surface est polie, ces rayons sont réfléchis comme dans l'expérience de la réflexion, mais si leur surface est terne, ils sont alors absorbés en grande partie. Quand on recouvre d'une couche de noir de fumée la surface concave d'un miroir, au foyer duquel est mis un thermomètre, on observe par l'immobilité de cet instrument que si l'on place un corps chaud à quelque distance, la plus grande partie des rayons est absorbée, ce qui prouve que les corps dont la surface est noire, ou raboteuse, ou de couleur foncée, absorbent beaucoup plus vite les

rayons de chaleur que les corps dont la surface est brillante.

Pouvoir réfléchissant des corps.

Le pouvoir réfléchissant s'évalue en couvrant successivement la surface du miroir de diverses substances, et en observant à chaque expérience le thermomètre de Leslie, dont la boule focale est placée au foyer du miroir. Dans ces expériences, il faut que la surface du cube, tournée vers le miroir, soit constamment la même, et que l'eau soit renouvelée chaque fois, pour qu'elle ait toujours la même température. En représentant par 100 le pouvoir réfléchissant du cuivre jaune, celui de quelques substances est exprimé par :

	Pouvoirs réfléchissants.
Argent	90
Étain en feuilles	80
Acier.	70
Plomb.	60
Verre	10
Verre huilé	5
Noir de fumée.	0

Ce tableau nous montre que les corps polis qui réfléchissent le plus abondamment le calorique sont ceux dont le pouvoir émissif est très faible; et, qu'au contraire, les corps qui ont un pouvoir rayonnant très grand, sont ceux dont le pouvoir réfléchissant est très faible; que les corps dont le pouvoir absorbant est considérable sont ceux dont le pouvoir rayonnant est très grand.

D'après ce qui précède, on voit que pour conserver un liquide chaud pendant long-temps, il faut le mettre dans un vase dont les pouvoirs émissif et

absorbant soient très faibles ; aussi les métaux polis sont très propres à cet usage.

Lorsqu'on fait construire des cheminées, il faut avoir le soin de faire mettre à l'intérieur des carreaux blancs de faïence (et non pas de les noircir), afin que le calorique se réfléchisse dans l'appartement.

Les vêtements noirs sont mauvais, parce que leurs pouvoirs émissif et absorbant sont très considérables ; en été, on est incommodé par la trop grande quantité de chaleur qu'ils absorbent ; en hiver, au contraire, on est glacé par la quantité prodigieuse de calorique qu'il prennent au corps, et qu'ils émettent de tous les côtés sur les corps environnants. D'après cela, il faudrait s'habiller de blanc en été comme en hiver.



§ IV.

Lois du refroidissement des corps.

Lorsque l'on isole dans l'espace un corps chaud, il perd d'autant plus de chaleur que sa température est plus élevée que celle du milieu dans lequel il est plongé.

Le refroidissement d'un corps dans un gaz quelconque se fait par le rayonnement, et par le contact du gaz environnant ; dans le vide, le refroidissement est dû uniquement au rayonnement.

Il résulte des expériences très exactes de MM. Petit et Dulong, que 1° Si l'on pouvait observer le refroidissement d'un corps placé dans un espace vide terminé par une enceinte absolument dépourvue de chaleur, ou privée de la faculté de rayonner, les vitesses de refroidissement décroîtraient en progres-

sion géométrique, lorsque les températures diminueraient en progression arithmétique;

2° Pour une même température de l'enceinte vide dans laquelle un corps est placé, les vitesses de refroidissement, pour des excès de température en progression arithmétique, décroissent comme les termes d'une progression géométrique diminués d'un nombre constant;

3° La vitesse de refroidissement dans le vide, pour un même excès de température, croît en progression géométrique, la température de l'enceinte croissant en progression arithmétique;

4° La vitesse du refroidissement, due au seul contact d'un gaz, est entièrement indépendante de la nature de la surface des corps;

5° La vitesse du refroidissement, dû au seul contact d'un gaz, varie en progression géométrique, l'excès de température variant lui-même en progression géométrique;

6° Le pouvoir refroidissant d'un fluide élastique diminue en progression géométrique, lorsque sa tension diminue elle-même en progression géométrique; ou autrement, le pouvoir refroidissant d'un gaz est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à une certaine puissance de la pression. L'exposant de cette puissance, qui dépend de la nature du gaz, est 0,45 pour l'air, 0,315 pour l'hydrogène, 0,517 pour le gaz acide carbonique, 0,501 pour le gaz oléfiant (hydrogène carboné).

Équilibre de température.

Quand deux corps sont inégalement chauds, il se fait de l'un à l'autre un échange de rayons calorifiques, jusqu'à ce que la température de ces deux corps soit la même; on dit alors qu'il y a équilibre

de température. Si les corps sont en contact, le plus chaud partage son calorique avec le plus froid, soit de molécule à molécule, ou par rayonnement, jusqu'à ce que l'équilibre de température soit établi. C'est ainsi, par exemple, que, quand nous touchons un corps dont la température est plus basse que la nôtre, nous éprouvons la sensation du froid, parce que ce corps qui tend à se mettre en équilibre de température, nous enlève une partie de notre calorique. Il en est de même quand nous entrons dans une cave, où la température est sensiblement la même dans toutes les saisons. La température de cette cave nous semble froide en été et chaude en hiver : c'est qu'en été notre corps, étant plus chaud que l'air de la cave, lui cède de son calorique, tandis qu'en hiver, la surface de notre corps étant plus froide, reçoit du calorique de l'air de cette cave.



§ V.

CHANGEMENT D'ÉTAT DES CORPS.

Fusion des corps solides.

Le calorique fait passer les corps solides à l'état liquide. Tous les corps solides, en changeant ainsi d'état, ne présentent pas les mêmes phénomènes : les uns, comme le suif, la cire, se ramollissent ; les autres, comme quelques alliages métalliques, deviennent très cassants avant de se fondre. Mais ce qu'il y a de remarquable pendant ce changement d'état, c'est que, à partir du moment où le corps commence à fondre, sa température reste constante pendant toute la durée de la fusion. On nomme la-

tente la chaleur qui est absorbée pendant la fusion des corps, et qui est tout-à-fait insensible au thermomètre.

Le tableau suivant indique le point de fusion de quelques substances.

Mercure	—	39°
Glace		0
Huile d'olive	+	10
Graisse de porc.		27
Suif		33
Phosphore		43
Soufre		109
Etain		210
Bismuth		256

Lorsque les liquides passent à l'état solide, ils abandonnent tout le calorique qu'ils avaient absorbé en passant de l'état solide à l'état liquide.

Ébullition des liquides.

Lorsqu'on chauffe un liquide, il arrive un moment où la vapeur qui se forme a le même degré d'élasticité que l'air environnant; on voit alors se produire, dans l'intérieur même de la masse liquide, des bulles de vapeur qui grossissent à mesure qu'elles s'élèvent, et qui s'en vont crever à sa surface. Ce mouvement tumultueux, qui est produit dans les liquides par la formation subite de la vapeur, est ce qu'on nomme l'*ébullition*.

L'ébullition n'a pas lieu, pour tous les liquides, au même degré de température. Le point d'ébullition d'un même liquide varie aussi avec la pression.

On trouve que , sous la pression ordinaire , qui est de 760^{mm},

L'éther sulfurique bout à	35°,5
Alcool	78°,8
Eau	100°
Essence de térébenthine pure.	156°,8
Mercure	350°

D'après cette table , on voit que , sous la pression ordinaire , l'éther sulfurique bout à 35°,5 ; si l'on met ce même éther sous le récipient de la machine pneumatique , et qu'on fasse le vide , on le verra bouillir à 0°.

Si , au lieu de diminuer la pression , on l'augmente , en se servant d'un vase métallique à parois très épaisses et fermé hermétiquement , qui porte le nom de *marmite de Papin* , on pourra chauffer ce vase jusqu'à le faire rougir , sans faire bouillir le liquide qu'il renferme , parce que , à mesure que la vapeur se forme , elle acquiert une grande force élastique , presse sur la surface du liquide , et lui permet de s'échauffer considérablement. Si l'on vient à donner issue à la vapeur ainsi formée , elle jaillit avec violence , et forme un jet de plusieurs mètres de hauteur. On se sert de la *marmite de Papin* pour extraire la gélatine des os et en faire du bouillon ou de la colle forte.

Pendant toute la durée de l'ébullition des liquides , la température reste constante ; ce qui prouve que le calorique est absorbé par la vapeur à mesure qu'elle se forme.

Du froid produit par l'évaporation des liquides.

Puisque les liquides absorbent du calorique pen-

dant leur passage à l'état de vapeur, il s'ensuit que si on expose un liquide à l'air libre, ce liquide enlèvera aux corps qui l'avoisinent toute la quantité de chaleur nécessaire pour se réduire en vapeur ; c'est en effet ce qui a lieu. Que l'on prenne un thermomètre dont le réservoir soit recouvert de coton, qu'on trempe ce coton dans de l'éther sulfurique, et qu'on agite ensuite vivement le thermomètre dans l'air, on verra bientôt le mercure descendre et atteindre le 15° degré au-dessous de zéro. Ce qui prouve que l'éther, pour se vaporiser, a pris du calorique au réservoir avec lequel il était en contact. C'est par une raison analogue que l'on éprouve une sensation de froid quand on verse sur une partie du corps quelques gouttes d'un liquide dont la vaporisation est prompte.

En Espagne, on se sert de vases appelés *alcarazas*, pour avoir, même dans les plus grandes chaleurs de l'été, de l'eau toujours fraîche. Ces vases sont faits d'une substance très poreuse, en sorte que l'eau qu'ils renferment peut facilement traverser leurs parois, et apparaître à leur surface extérieure sous la forme de gouttelettes; cette eau se vaporise en dérobant du calorique aux vases et au liquide qu'ils renferment; et de ce que cette vaporisation se continue long-temps, on conçoit que l'eau des vases doit se refroidir considérablement.

On peut même, par la simple évaporation de l'eau, produire de la glace dans une atmosphère dont la température est beaucoup plus élevée que celle qui convient à sa formation : il suffit de placer sous le récipient de la machine pneumatique deux vases l'un au-dessus de l'autre : l'un, et c'est le supérieur, renferme de l'eau pure; l'autre une substance qui a beaucoup d'affinité pour l'eau, l'acide sulfurique, par exemple; on fait le vide, et lors-

qu'il est sensiblement fait, on laisse l'appareil en repos; après quelques minutes, on voit l'eau parfaitement congelée. Il est très facile de se rendre compte de ce phénomène. L'eau qui est dans la capsule supérieure se réduit partiellement en une vapeur, qui est aussitôt absorbée par l'acide sulfurique; alors il se forme un nouveau vide, qui est bientôt rempli d'une nouvelle quantité de vapeur. Mais comme cette vapeur ne saurait se former sans ôter à l'eau de son calorique, il en résulte qu'elle en prend assez pour la faire passer à l'état de glace. Cette expérience est de M. Leslie.

§ VI.

VAPEURS.

Maintenant que nous savons que les liquides peuvent se transformer en vapeurs, nous allons considérer celles-ci sous le rapport de leurs forces élastiques, de leurs densités, de leur mélange avec les gaz, et d'abord de leur formation dans le vide.

Force élastique.

L'appareil que l'on emploie pour mesurer la force élastique des vapeurs à la température ordinaire est très simple; il consiste en un tube de baromètre, dans lequel on verse du mercure bouilli, de manière à le remplir presque entièrement, et que l'on achève de le remplir avec le liquide dont on veut essayer la vapeur. On retourne le tube en bouchant l'ouver-

ture avec le doigt, et l'on promène le liquide dans toute sa longueur afin de détacher les bulles d'air qui auraient pu rester adhérentes à ses parois. On renverse le tube, afin que l'air, entraîné par le liquide, puisse monter et s'échapper, et on achève de le remplir, soit avec du liquide, soit avec du mercure si l'on juge avoir mis assez de liquide la première fois. Alors on met le doigt sur l'ouverture, et on retourne le tube, en le plongeant dans un bain de mercure, et en ôtant le doigt aussitôt qu'il y est plongé. Alors on remarque que le liquide se vaporise subitement, en tout ou en partie; ce qui dépend de l'espace, de la température, de la nature ou de la quantité du liquide : mais pour que l'expérience soit rigoureuse, il faut qu'il en reste sur la colonne de mercure une légère couche, qu'on fait passer à l'état de vapeur.

Si l'on compare la hauteur du mercure, dans ce tube barométrique à celle d'un baromètre parfait, on voit qu'elle n'est pas la même, qu'elle est plus élevée dans le baromètre que dans le tube où est la vapeur. Cet abaissement ne peut venir que de la force élastique de la vapeur du liquide qui presse sur la colonne, et la différence de niveau indique précisément la force élastique de la vapeur du liquide qu'on emploie, à la température à laquelle on opère.

Une différence très grande qui existe entre les vapeurs et les gaz, c'est que si, dans un espace donné, on augmente la quantité de matière capable d'y produire un gaz, on augmente aussi la force élastique du gaz; tandis que si on augmente la quantité de liquide qui ne s'est pas vaporisée, on ne change nullement la tension de la vapeur. De même, la force de ressort d'un gaz augmente à mesure qu'on diminue l'espace qu'il occupe, tandis que la vapeur

ne pouvant pas supporter une pression plus forte que celle qui convient à son maximum de force élastique, pour la température à laquelle on opère, redevient liquide, à mesure qu'on diminue l'espace où elle est renfermée.

On obtient la force élastique de la vapeur d'un liquide de 0° à son point d'ébullition, en se servant d'un tube semblable au précédent, que l'on place à côté d'un baromètre parfait; on enveloppe le tout d'un manchon en verre, que l'on remplit d'eau très claire, et dont on connaît la température au moyen d'un thermomètre à long réservoir que l'on plonge dans le manchon. On laisse refroidir, et l'on observe à chaque degré du thermomètre la différence des deux niveaux; ce qui donne la force élastique de la vapeur, correspondante aux différentes températures observées. On peut répéter cette expérience avec un grand nombre de liquides, et on trouve qu'à la température de leur ébullition, ils sont équilibrés à la pression de l'atmosphère, qui est égale à $0,76^m$, c'est-à-dire qu'ils font baisser le mercure dans le tube jusqu'au niveau de celui dans lequel le tube est plongé.

On peut encore observer la force élastique d'une vapeur à 0° et au-dessous, mais pour cela il faut courber l'extrémité fermée du tube barométrique, et la plonger dans un mélange réfrigérant dont on connaît la température. Ce procédé, très ingénieux, est dû à M. Gay-Lussac.

Enfin, pour observer la force élastique d'une vapeur au-dessus de 100° , M. Dalton dispose l'appareil de la manière suivante: il recourbe un tube barométrique, et lui donne la forme d'un siphon (Fig. 136), et il s'arrange de telle sorte que la plus courte branché contienne le liquide qu'on veut vaporiser, et qu'elle soit en même temps remplie de

mercure, et qu'en outre le mercure soit à la même hauteur dans l'autre branche. Il recouvre la plus courte branche d'un cylindre en cuivre, qu'il remplit d'huile à différentes températures. Dans ce cas, il est clair que la force élastique de la vapeur fait équilibre à la pression atmosphérique, et à l'excès de niveau dans la longue branche. Si on veut une température plus élevée, on chauffe l'huile davantage, on verse en même temps du mercure dans la longue branche, et alors l'excès de niveau de la grande sur la petite, joint à la pression atmosphérique, est égal à la force élastique de la vapeur pour cette nouvelle température. Le docteur Ure de Glasgow a modifié la forme de cet appareil, en substituant au cylindre métallique un ballon de verre, dans lequel il met le liquide; ce qui permet de chauffer directement.

Nous donnons ici une table de la force élastique de la vapeur d'eau, depuis — 20° jusqu'à 130°.

Table des forces élastiques de la vapeur d'eau
entre -20° et $+130^{\circ}$.

DEGRÉS.	TENSION.	DEGRÉS.	TENSION.	DEGRÉS.	TENSION.	DEGRÉS.	TENSION.
-20	1,353	18	15,353	56	119,39	94	611,18
-19	1,429	19	16,288	57	125,31	95	634,27
-18	1,531	20	17,314	58	131,50	96	658,05
-17	1,638	21	18,517	59	137,94	97	682,59
-16	1,755	22	19,417	60	144,66	98	707,63
-15	1,879	23	20,577	61	151,70	99	733,46
-14	2,011	24	21,805	62	158,96	100	760,00
-13	2,152	25	23,090	63	166,56	101	787,27
-12	2,302	26	24,452	64	174,47	102	815,26
-11	2,461	27	25,881	65	182,71	103	843,98
-10	2,631	28	27,390	66	191,27	104	873,44
-9	2,812	29	29,045	67	200,18	105	903,64
-8	3,005	30	30,643	68	209,44	106	934,81
-7	3,210	31	32,410	69	219,06	107	966,51
-6	3,428	32	34,261	70	229,07	108	994,79
-5	3,660	33	36,188	71	239,45	109	1024,04
-4	3,907	34	38,254	72	250,25	110	1066,06
-3	4,170	35	40,404	73	261,43	111	1100,87
-2	4,448	36	42,743	74	273,03	112	1138,43
-1	4,745	37	45,038	75	285,07	113	1172,78
0	5,059	38	47,579	76	297,57	114	1209,90
1	5,393	39	50,147	77	310,49	115	1247,81
2	5,748	40	52,998	78	323,89	116	1286,51
3	6,123	41	55,772	79	337,76	117	1325,98
4	6,523	42	58,792	80	352,08	118	1366,23
5	6,947	43	61,958	81	567,00	119	1407,24
6	7,396	44	65,627	82	382,38	120	1448,83
7	7,871	45	68,751	83	398,28	121	1491,58
8	8,375	46	72,375	84	414,73	122	1534,89
9	8,909	47	76,205	85	431,71	123	1578,96
10	9,475	48	80,195	86	449,26	124	1623,67
11	10,074	49	84,370	87	467,38	125	1669,31
12	10,707	50	88,742	88	486,09	126	1715,58
13	11,378	51	93,301	89	505,38	127	1762,56
14	12,087	52	98,075	90	525,28	128	1810,25
15	12,837	53	103,06	91	545,80	129	1858,63
16	13,630	54	108,27	92	566,95	130	1907,67
17	14,468	55	113,71	93	588,74		

Densité des vapeurs.

Le procédé par lequel on détermine la densité des vapeurs est dû à M. Gay-Lussac. On commence par souffler à la lampe d'émailleur une petite ampoule de verre (Fig. 137), très mince, que l'on pèse; ensuite on la remplit très exactement de liquide, en la chauffant et la plongeant immédiatement dans le liquide, de la même manière que si on voulait remplir un tube de thermomètre; l'ampoule étant pleine, on la ferme en présentant sa pointe au dard d'un chalumeau ou à la flamme d'une bougie. On la pèse de nouveau, et en retranchant de ce nouveau poids le premier, on connaît le poids du liquide renfermé dans l'ampoule. On fait passer l'ampoule sous une cloche de verre, divisée en parties de capacités égales, et remplie de mercure: cette cloche est renversée dans un bain de mercure, qui est lui-même contenu dans une petite chaudière en fonte, que l'on place sur un fourneau; on recouvre la cloche d'un grand cylindre en verre que l'on remplit d'eau (Fig. 138); on chauffe l'appareil de manière à faire bouillir l'eau du manchon; cette eau échauffe le mercure de la cloche, ainsi que la petite ampoule de verre; le liquide contenu dans l'ampoule se dilate, brise l'enveloppe, et se réduit en vapeur. Alors on mesure avec un grand soin la hauteur de la colonne dans la cloche, à partir du niveau du mercure qui est dans la chaudière, et on retranche cette hauteur de celle du mercure dans le baromètre à l'instant où l'on fait l'expérience. On a ainsi la force élastique de la vapeur, en ramenant toutefois par le calcul les hauteurs des deux colonnes à 0°. On connaît le volume de la vapeur par le nombre de divisions qu'elle occupe dans la cloche;

d'où l'on voit qu'il est facile de trouver les rapports des volumes du liquide et de la vapeur, à une température et à une pression données.

Il faut, dans cette expérience, s'assurer si tout le liquide est vaporisé ; car s'il ne l'était pas, on commettrait de grandes erreurs : il faudrait alors recommencer l'expérience, et opérer sur une moindre quantité de liquide.

En opérant de la manière que nous venons de décrire, et après avoir fait les réductions nécessaires, M. Gay-Lussac a trouvé qu'à la température de 100° , et sous la pression de 760^{mm} , la vapeur d'eau occupait 1696, 4 fois son volume à l'état liquide : d'où il suit que le poids de la vapeur d'eau est à celui de l'air comme 10577 est à 16964, ou comme, à très peu de chose près, 10 est à 16, c'est-à-dire qu'un volume de vapeur d'eau à 100° pèse 10, lorsqu'un pareil volume d'air aussi à 100° pèse 16.

Voici, d'après M. Gay-Lussac, la densité de quelques vapeurs trouvées par le procédé que nous venons de décrire.

	Poids d'une livre à zéro. DENSITÉS. sous la pression <i>om</i> , 76.	
Air	1,000	1,299
Vapeur d'eau	0,625	0,810
d'alcool.	1,613	2,096
d'éther sulfurique . .	2,586	3,360
de sulf. de carbone. .	2,615	3,436
d'essence de térébent .	5,013	6,515

Mélange des vapeurs avec les gaz.

Dans un espace plein d'air ou d'un gaz quelconque, la quantité de vapeur qui s'y forme a la même force élastique, et est parfaitement égale à celle qui se formerait, la température étant la même, si le même espace était vide ; seulement la vaporisation

est plus lente, et d'autant plus que le gaz avec lequel elle se combine est plus dense. La force élastique de la vapeur ainsi formée s'ajoute à celle de l'air; ce qui porte à conclure que le gaz n'exerce aucune pression sur la vapeur, et que la formation de celle-ci est entièrement due au calorique.

Évaporation des liquides.

Quand on expose un liquide à l'air libre, on sait que ce liquide se dissipe peu à peu, et qu'après un laps de temps plus ou moins long, il est entièrement dissipé; cet effet se nomme *l'évaporation*.

Nous avons vu précédemment que si on introduit un liquide dans un espace vide, ou rempli d'air sec, une partie de ce liquide passe à l'état de vapeur, et que la quantité ne dépend que de la température, et qu'il n'y a de différence entre l'air et le vide que par l'inégale rapidité de la vaporisation, qui se fait subitement dans le vide et très lentement dans l'air. D'après cela, on voit que si on expose à l'air libre un liquide, de l'eau, par exemple, cette eau se vaporisera si la quantité de vapeur aqueuse contenue dans l'air n'est pas celle qui convient à cette température; l'évaporation sera d'autant plus rapide, que l'air sera moins chargé d'humidité, que la température du liquide sera plus élevée, que ce liquide offrira plus de surface, et enfin que les couches d'air en contact avec la surface liquide seront renouvelées successivement, à mesure qu'elles se chargeront de vapeurs. M. Dalton a trouvé que l'évaporation de l'eau dans une atmosphère calme et sèche était proportionnelle à la force élastique de la vapeur qui se forme. Ainsi, à température égale, l'évaporation est plus rapide pour les li-

quides dont la force élastique est la plus considérable.

La formation de la vapeur ne peut pas s'effectuer sans enlever du calorique à la masse liquide d'où elle s'échappe. (*Voyez* ce que nous avons dit à ce sujet , page 264 , sur le froid produit par l'évaporation des liquides.)

Condensation des vapeurs.

Lorsqu'un liquide a été réduit en vapeurs , trois causes différentes peuvent le ramener à son état primitif , savoir : 1° la compression ; 2° le refroidissement ; 3° l'affinité d'une substance pour la vapeur condensée.

La pression que l'on exerce sur une vapeur , en diminuant successivement l'espace dans lequel elle est renfermée , suffit pour la faire repasser à l'état liquide.

La condensation d'une vapeur par refroidissement s'obtient en faisant passer cette vapeur à travers un liquide froid.

Enfin , la vapeur se condense lorsqu'on la met en contact avec des substances qui ont beaucoup d'affinité pour elle. C'est ainsi , par exemple , que quelques sels , dont l'affinité pour l'eau est très grande , s'emparent de sa vapeur partout où ils la trouvent.

§ VII.

HYGROMÈTRES.

Les hygromètres ont pour objet de faire connaître

la quantité d'eau à l'état de vapeur qui se trouve dans l'air atmosphérique, ou dans un gaz quelconque.

Le principe sur lequel est fondée la construction des hygromètres est que les substances organiques changent de volume à mesure qu'elles absorbent des vapeurs, ou qu'elles les dégagent. Ainsi, tout le monde sait que par un temps humide le parchemin est bien plus flexible que par un temps sec; les cordes à boyau s'allongent quand l'air est humide; le papier est dans le même cas que le parchemin, et une foule d'autres substances que l'on pourrait citer.

On construit un grand nombre d'hygromètres, qui ne sont d'aucune utilité dans les sciences, mais qui montrent aux yeux du vulgaire l'effet grossier que produit l'air humide ou l'air sec sur ces instruments. La pièce principale de tous ces hygromètres est une corde à boyau, attachée horizontalement par l'un de ses bouts à quelque chose d'immobile, et fixée par l'autre à une petite figure, qui est ordinairement un capucin. Selon que l'air est plus ou moins humide, la corde à boyau s'allonge ou se raccourcit, en faisant mouvoir le bras ou le capuchon de la petite figure.

L'hygromètre que l'on emploie de préférence est celui de Saussure. La pièce principale est un cheveu que l'on a dépouillé de sa matière grasse, en le laissant quelques minutes dans de l'eau bouillante, tenant en dissolution un centième de sulfate de soude. On fixe solidement ce cheveu par l'une de ses extrémités, et l'on enroule l'autre autour d'une poulie, à laquelle est fixée une aiguille qui peut parcourir un cercle divisé; cette extrémité du cheveu porte un petit poids, afin qu'il soit convenablement tendu (Fig. 139). Pour que cet instrument soit comparable à lui-même, Saussure a pris, pour diviser l'échelle, deux points fixes, la sécheresse extrême,

et l'humidité extrême. Pour déterminer l'extrême humidité, Saussure mettait l'hygromètre sous une cloche dont il mouillait les parois, et qu'il posait ensuite sur un large vase rempli d'eau; et il entretenait les parois de la cloche toujours humides, jusqu'à ce que le cheveu cessât de s'allonger; il marquait le point où s'arrêtait l'aiguille, puis portait l'hygromètre sous le récipient de la machine pneumatique, et, pour avoir une grande sécheresse, il plaçait sous la cloche une plaque de tôle couverte de carbonate de potasse, qu'il avait chauffé jusqu'au rouge; il faisait le vide et observait le point où s'arrêtait l'aiguille; il marquait ce second point, et divisait l'intervalle en 100 parties égales, en mettant le nombre 100 au point de l'extrême humidité, et zéro à l'extrême sécheresse.

Construit de cette manière, l'hygromètre n'indique que la plus ou moins grande humidité de l'air, et nullement la quantité totale de la vapeur qui s'y trouve répandue. Il serait donc important de connaître les rapports entre les divers degrés de l'hygromètre, et les quantités de vapeurs qui y correspondent. Saussure avait commencé ce travail; il avait même construit quelques tables, mais qui ne sont pas exactes. Ce travail a été repris et fait par M. Gay-Lussac, qui en a dressé des tables.

Des brouillards et des nuages.

L'eau qui est de toutes parts à la surface de la terre, s'évapore sous la forme de vapeur invisible, s'élève dans l'atmosphère en vertu de sa force expansive, et se répand de tous les côtés; cette évaporation continue jusqu'à ce que l'air soit totalement saturé. Si la température de l'air vient à diminuer, toute la vapeur ne pourra pas exister à cette nou-

velle température; le froid alors saisira la vapeur excédante, et la condensera sous forme de petits globules creux, que l'on nomme vésicules ou *vapeur vésiculaire*. Si cette condensation se fait dans les hautes régions de l'air, ces vésicules formeront un nuage d'autant plus grand que le froid se sera fait sentir dans une plus grande étendue de l'atmosphère; mais si, au contraire, elle a lieu dans les régions de l'air qui sont en contact avec la terre, ces vésicules formeront un brouillard. C'est ainsi que sont produits les nuages et les brouillards.

De la rosée.

C'est au docteur Wells que nous devons la théorie et l'explication du phénomène de la rosée.

Les différents corps placés à la surface de la terre lancent du calorique rayonnant de tous les côtés, mais ce rayonnement est très inégal pour chacun d'eux. La partie de ces corps qui regarde le ciel rayonne vers les espaces célestes: si alors l'atmosphère est calme et sans nuages, ce calorique est perdu pour eux; et, comme ils ne peuvent pas réparer cette perte, leur température s'abaisse; elle s'abaisse d'autant plus, que l'étendue du ciel vers laquelle ils rayonnent est plus grande, et que leurs pouvoirs rayonnants sont plus grands. La température peut s'abaisser de manière à n'être plus que $-3^{\circ}-2^{\circ}-1^{\circ}$ pour les uns et $0^{\circ}+1^{\circ}+2^{\circ}+3^{\circ}$ pour les autres. Alors, la couche d'air qui repose sur ces corps se refroidit, la vapeur d'eau se refroidit pareillement et se précipite sur ces corps froids, d'autant plus abondamment que leur température est plus basse. D'après cela, on voit que les corps qui se refroidissent le plus, sont ceux sur lesquels la rosée se dépose le plus abondamment.

La rosée se forme pendant la nuit. Elle commence quelquefois un peu avant le coucher du soleil, se dépose toute la nuit, et souvent même quelques instants après le lever de cet astre. La précipitation de la rosée est plus considérable entre minuit et le lever du soleil qu'entre son coucher et minuit, parce que le froid est plus considérable dans le premier intervalle de temps que dans le second. Les circonstances qui peuvent augmenter l'humidité de l'air concourent à accroître la quantité de rosée; ainsi les nuits étant calmes et sans nuages, la rosée est plus abondante après la pluie que dans une saison sèche; elle est plus abondante pendant les vents du midi ou du couchant que pendant ceux du nord et de l'est.

Gelée blanche.

Lorsque les corps se sont refroidis et que la rosée s'est déposée à leur surface, on conçoit très bien que ce refroidissement puisse être assez considérable pour arriver à la température de -2° — 3° , geler les gouttes d'eau qui couvrent les corps, et former ce qu'on nomme la *gelée blanche*.

Formation artificielle de la glace au Bengale.

Au Bengale, on forme de la glace artificielle pendant les nuits où l'atmosphère est calme et sans nuages, et pendant lesquelles la température de l'air est de quelques degrés au-dessus de zéro. A cet effet on creuse, dans une vaste plaine, des trous de forme rectangulaire de trente pieds de côté, et de deux de profondeur, que l'on remplit de cannes à sucre ou de paille de maïs; sur cette couche on place, les unes à côté des autres, des terrines évasées, non

vernissées, très peu épaisses, profondes de deux pouces environ et pleines d'eau. On dispose ces vases le soir, et le matin on va recueillir la glace qui s'est formée pendant la nuit.

Long-temps on a cru que dans ce cas la formation de la glace était due à l'évaporation; mais pour peu qu'on y songe, on voit que cela n'est guère possible; d'ailleurs, souvent le poids de l'eau augmente. Le calorique rayonnant nous donne l'explication de ce phénomène.

§ VIII.

CAPACITÉ DES CORPS POUR LE CALORIQUE.

On a tenté vainement, jusqu'ici, de déterminer la quantité absolue de chaleur que renferment les corps, mais on est parvenu à mesurer la quantité qu'ils prennent pour s'élever, sous le même poids, d'un nombre égal de degrés, et c'est à cette quantité que l'on donne le nom de *chaleur spécifique* ou de *calorique spécifique*.

Ainsi, en mêlant ensemble un kilogr. d'eau à 34° et un kilogr. de mercure à 0°, on obtient deux kilogr. d'un mélange dont la température est de 33 degrés : d'où nous voyons que le mercure et l'eau contiennent des quantités différentes de chaleur spécifique. Cette expérience nous montre que la quantité de calorique nécessaire pour élever la température de l'eau de 1 degré, est suffisante pour élever celle d'un kilogr. de mercure de 33 degrés. Donc la capacité de l'eau pour le calorique est plus grande que celle du mercure.

La capacité d'un corps pour le calorique aug-

mente avec la température, bien que, pour l'eau, elle soit sensiblement la même, de 20° à 40° que de 40° à 60°, comme le prouve l'expérience suivante : on mêle ensemble un kilogr. d'eau à 15 degrés avec un autre kilogr. à 45°, et il en résulte deux kilogr. dont la température est sensiblement à 30°. Le mercure est dans le même cas que l'eau pour de basses températures, car on trouve que, de 0° à 100°, les capacités sont moindres que de 100° à 200°, et, à plus forte raison, que de 200° à 300°.

Si l'on opère sur le même corps, mais sous des états différents, on trouve que les capacités sont tout-à-fait différentes : ainsi l'eau paraît avoir moins de capacité à l'état liquide qu'à l'état de glace ; car si on mêle ensemble un kilogr. d'eau à 75° avec un kilogr. de glace à zéro, on obtient deux kilogr. d'eau à 0°.

On peut, à l'aide de cette méthode, qui est connue sous le nom de *méthode des mélanges*, déterminer quel est le calorique spécifique d'un grand nombre de corps.

A cet effet, on commence par trouver le rapport entre le calorique spécifique de l'eau et celui des corps que l'on a soumis à l'expérience : on représente celui de l'eau par l'unité, et l'on compare celui des autres corps à cette unité. Ainsi, dans une des propositions précédentes, nous avons vu que le calorique spécifique du mercure est à celui de l'eau comme 1 est à 33 : en représentant le calorique spécifique de l'eau par l'unité, celui du mercure le sera par $\frac{1}{33}$, ou par 0,33.

Cette méthode n'est plus applicable quand les corps exercent une action chimique sur l'eau, parce qu'en se combinant ils absorbent ou ils dégagent du calorique, ce qui altère tout-à-fait les résultats ; alors on les mêle avec des corps sur lesquels ils n'ont au-

cune action, et dont le calorique spécifique soit connu, afin de déterminer la quantité de celui qu'ils contiennent.

Il est bon d'indiquer ici quelques précautions qu'il faut observer pour mettre toute l'exactitude possible dans la manière d'opérer : c'est de faire en sorte que les vases dont on se sert et même l'air environnant, soient à la même température que le mélange qui doit se faire très promptement, et dont la température s'observe à l'aide d'un thermomètre plongé dans le mélange.

Outre la méthode que nous venons de décrire, il en existe une autre qui est peut-être susceptible de plus d'exactitude. Nous savons que 1 kilogr. d'eau à 75° fond 1 kilogr. de glace à 0°. Si donc on élève la température d'un autre corps à 75°, et que ce corps fonde un demi-kilogr. ou un quart de kilogr. de glace, on en conclura que la chaleur spécifique de ce corps est $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, ou 0,5; 0,25. C'est en partant de ce principe que Lavoisier et Laplace ont construit l'instrument qu'ils ont appelé *calorimètre*.

Il se compose de trois vases métalliques contenus l'un dans l'autre, et séparés par de petites lames de métal. Le vase du centre, qui est formé de fil de fer, est celui où l'on place le corps dont on cherche à évaluer le calorique spécifique; l'intervalle qui sépare ce vase du second, est rempli de glace pilée; l'intervalle du deuxième au troisième est pareillement rempli de glace, afin que la température de l'air n'ait aucune influence sur la glace du deuxième vase; on surmonte l'appareil d'un couvercle sur lequel on met de la glace (Fig. 140). Le deuxième vase porte à sa partie inférieure un robinet dont l'objet est de laisser écouler l'eau à mesure que le corps fond la glace. On recueille cette eau, que l'on

pèse avec un grand soin, quand on juge que le corps est arrivé à la température de la glace fondante.

Quand le corps dont on veut déterminer le calorique spécifique est liquide, on le met dans un vase dont on a préalablement déterminé le calorique spécifique. On élève leur température convenablement, et on les porte ensuite dans le calorimètre. Il faut alors avoir soin de tenir compte du calorique spécifique du vase.

Quand les corps sont gazeux, il faut employer le moyen dont se sont servis MM. Delaroché et Bérard; il consiste à prendre un cylindre rempli d'eau et traversé par un serpentin, dans lequel on fait passer un courant du gaz que l'on soumet à l'expérience, et dont la température est constante. Ce gaz chauffe l'eau d'un certain nombre de degrés; et l'on conçoit que si l'on prend successivement différents gaz, on en peut déduire leurs chaleurs spécifiques par la quantité qu'il faut de chacun d'eux pour chauffer d'un même nombre de degrés une même masse d'eau; car ces chaleurs sont en raison inverse des volumes employés.

Si l'on veut comparer ces résultats à la chaleur spécifique de l'eau, il suffira d'évaluer en poids le volume des gaz, de connaître leur degré de refroidissement à la sortie du serpentin, le poids de l'eau chauffée et son accroissement de température, et enfin la chaleur spécifique du vase employé. Par ce moyen, on trouve que 83 litres, 40 d'air atmosphérique, sous la pression de 0^m, 76 et à 0° de température, pèsent 108 gram., 320, et sont capables d'élever la température de 620 gram., 8 d'eau jusqu'à 4°, en perdant 85° de chaleur. On cherchera par le calcul la quantité d'eau qui s'élèverait à 85° par la quantité de chaleur qui en élève 620 gram., 8 à 4°,

en faisant la proportion $85^{\circ} : 4^{\circ} :: 620^{\text{sr}} : x = 29^{\text{sr}}, 214$, on a alors les poids d'air et d'eau à la même température ; et comme les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids, la chaleur spécifique de l'eau est à celle de l'air dans le rapport de 108,320 à 29,214, ou de 1 à 0,2697.

Chaleur spécifique de diverses substances, comparées à celles de l'eau prise pour unité, d'après Lavoisier et Laplace.

Eau	1,00000
Soufre	0,20850
Fer battu.	0,11051
Étain	0,04754
Plomb	0,02819
Mercure	0,02900
Oxide rouge de mercure (deutoxide)	0,05011
Minium.	0,06227
Chaux vive du commerce	0,21689
Verre sans plomb	0,19290
Acide nitrique, densité 1,2989	0,66149
Acide sulfurique, densité 1,87.	0,33460
Solution de nitre formée de { Nitre. 1 }	0,81870
{ Eau. 8 }	
Huile d'olive	0,30961

NOTA. D'après Crawford, la chaleur spécifique du sang veineux est 0,8928, et celle du sang artériel 1,0300, et selon John Davy, celle du sang veineux est 0,903, et celle du sang artériel est 0,913.

Chaleur spécifique de différents gaz sous une même pression, celle de l'air atmosphérique étant l'unité, d'après MM. Laroche et Bérard.

	A vol. égaux.	A poids égaux.
Air atmosphérique	1,0000	1,0000
Gaz hydrogène	1,9033	12,3401
— acide carbonique	1,2583	0,8280
— oxygène.	0,9765	0,8848
— azote.	1,0000	1,0318
Protoxide d'azote	1,3503	0,8878
Gaz oléfiant.	1,5530	1,5763
— oxide de carbone.	1,0340	1,0805
Vapeur d'eau.	1,9600	3,1360

Chaleur spécifique des gaz comparée à celle de l'eau prise pour unité.

	Chaleur spécifique.
Eau	1,0000
Air atmosphérique	0,2669
Hydrogène.	3,2636
Acide carbonique	0,2210
Oxygène.	0,2351
Azote	0,2754
Protoxide d'azote	0,2369
Gaz oléfiant	0,4207
Oxyde de carbone	0,2884
Vapeur aqueuse :	0,8470

Outre le calorimètre de Lavoisier et Laplace, il en existe un autre qui a été imaginé par Rumfort, au moyen duquel on peut mesurer les quantités relatives de chaleur produites pendant la combustion de plusieurs substances. Ce calorimètre se compose d'un vase en cuivre rouge, ayant huit pouces de long, quatre pouces de large, et quatre pouces de hauteur; un serpentín est renfermé dans son intérieur (fig. 141); l'un des bouts du serpentín traverse

le fond de la caisse, et a la forme d'un entonnoir; l'autre bout, après avoir fait deux révolutions horizontales, perce la paroi du vase et sort horizontalement. Le couvercle de ce calorimètre est percé de deux trous, l'un est destiné à recevoir un thermomètre à réservoir cylindrique, l'autre à verser l'eau dans la caisse.

Quand on veut se servir de ce calorimètre, on le remplit d'eau distillée, et on brûle les substances sous l'extrémité du serpentín terminée en entonnoir. Les produits de la combustion passent dans le serpentín, et y déposent l'excès de leur température sur celle de l'eau. Pour avoir les rapports de la chaleur dégagée par différentes substances, il faut évaluer exactement la quantité de chacune d'elles qu'il est nécessaire d'employer, pour élever à une même température une même masse d'eau.

Élévation de température que la combustion de 1 gramme de diverses substances communiquerait à 1 gramme d'eau, d'après Rumford, Lavoisier et Laplace (1).

Hydrogène.	23400° LL.	
Huile d'olive.	{ 11166 LL.	
	{ 9044 R.	
Cire blanche.	{ 10500 LL.	
	{ 9479 R.	
Huile de colza épurée.	9307 R.	
Suif.	{ 8369	
	{ 7187 LL.	Pesant ^r spécifique.
Éther sulfurique	8030 R.	0,72834 à 20.
Phosphore	7500 LL.	

(1) LL signifient Lavoisier et Laplace; R Rumford.

Charbon.	7226	LL.		
Naphte	7338	R.	0,82731 à	13°.
Alcool à 42° de l'aréom.	6195	R.	0,817624	} 15°5
<i>Id.</i> , plus aqueux. . .	5422	R.	0,84714	
<i>Id.</i> , à 33° de l'aréom.	5261	R.	0,85234	
Bois de chêne	3146	R.		

§ IX.

MACHINES A VAPEUR.

Des expériences faites sur l'eau à l'état de vapeur, firent naître l'idée de l'appliquer, dans une foule de circonstances, comme force motrice; de là l'invention des machines à vapeur.

On sait généralement que, dans les machines de cette espèce, tous les mouvements tirent leur origine du jeu de va-et-vient d'un piston qui est mu dans un corps de pompe en communication avec une chaudière où la vapeur se forme par l'action du feu qui est dessous. Ce qu'il importe de connaître, c'est la manière dont la vapeur est employée à faire mouvoir le piston.

Supposons un corps de pompe communiquant à une chaudière où la vapeur puisse se former, et concevons un piston dans le corps de pompe: à l'instant où la communication s'ouvre entre la chaudière et le fond du corps de pompe, ce qui a lieu à l'aide d'un robinet, la vapeur s'introduit sous le piston, et le fait monter en vertu de sa force élastique. Lorsqu'il est arrivé au plus haut point de sa course, on ferme le robinet qui établit la communication entre l'intérieur de la chaudière et le corps de pompe, et, par un second robinet, on fait arriver un jet d'eau froide dans le corps de pompe, qui

va frapper la base du piston qui retombe, tandis que la vapeur se liquéfie. Alors la pression atmosphérique, qui agit continuellement sur la base supérieure du piston, le force à descendre. Alors on fait passer une nouvelle quantité de vapeur dans le corps de pompe. Cette vapeur, après avoir fait remonter le piston par sa force expansive, se trouve condensée par un jet d'eau froide ; et ainsi les effets se succèdent de manière à rendre durables les mouvements successifs du piston.

C'est de cette manière qu'on employait la vapeur dans les premières machines. On voit qu'elles n'étaient pas exemptes d'inconvénients : d'abord il fallait un ouvrier très intelligent pour ouvrir et fermer le robinet d'injection et celui qui fournissait la vapeur ; ensuite l'eau froide, en tombant dans le corps de pompe, en refroidissait les parois ; ce qui occasionait une dépense considérable dans l'emploi du combustible, vu la grande quantité de vapeur qu'il fallait fournir.

Ces machines ont été perfectionnées par le célèbre Watt ; en sorte que maintenant les inconvénients que nous venons de citer n'existent plus dans celles qu'on emploie aujourd'hui.

Dans les machines de Watt, la pression atmosphérique est supprimée, et la vapeur arrive alternativement au-dessus et au-dessous du piston. La condensation de la vapeur s'opère dans un tuyau nommé *condensateur*, qui est placé à côté du corps de pompe. De plus, les robinets et les soupapes sont mis en jeu par la machine elle-même, de manière qu'il ne faut, pour la surveiller, qu'un homme qui entretient le feu.

Le plan que nous nous sommes tracé ne nous permet pas d'entrer ici dans le détail de la construction des machines à vapeur ; ce qui est du ressort de

la mécanique appliquée. Notre but était seulement de montrer qu'on pouvait employer avec succès la vapeur comme force motrice.

§ X.

SOURCES DU CALORIQUE.

Les principales sources du calorique sont : 1° le soleil ; 2° les combinaisons chimiques ; 3° la percussion ; 4° le frottement ; 5° enfin, l'électricité.

Nous pouvons considérer le soleil comme une source féconde de chaleur, qui ne tarit jamais, mais qui varie suivant les lieux et suivant les saisons, c'est-à-dire suivant les situations relatives de la terre à l'égard du soleil. Aussi les pôles, qui reçoivent à peine quelques rayons solaires, sont-ils constamment glacés, tandis que les régions équatoriales sont toujours brûlantes, parce qu'elles reçoivent presque perpendiculairement les rayons du soleil.

Combinaisons chimiques.

Dans toutes les combinaisons chimiques il y a dégagement de chaleur, et quelquefois dégagement de lumière.

Ainsi, en mêlant ensemble quatre parties d'acide sulfurique avec une partie d'eau, la température du mélange arrive à 100 degrés, et quelquefois au-dessus.

En combinant la potasse, la soude, avec l'acide sulfurique, on obtient un dégagement de chaleur très considérable.

Le bismuth, l'arsenic, l'antimoine, très divisés, s'enflamment dès qu'on les fait tomber dans le chlore gazeux.

Si l'on verse de l'acide sulfurique sur un mélange de benjoin et de chlorate de potasse, la température augmente, et le mélange finit par s'enflammer.

Enfin la combustion, phénomène si étonnant, se fait tantôt avec dégagement de chaleur et de lumière, et tantôt elle se fait sans dégagement de lumière, et même sans dégagement de chaleur appréciable : c'est ainsi que le fer, le phosphore, etc., exposés à la température ordinaire dans l'atmosphère, se combinent avec l'oxigène de l'air, sans dégagement de chaleur sensible au thermomètre ; mais si on prend le fer en fils assez fins, et qu'on élève sa température jusqu'à un certain point, en le plongeant dans l'oxigène, on le voit brûler avec dégagement de chaleur et d'une lumière telle que l'œil en est ébloui.

De la pression.

Le chlore, l'oxigène et l'air atmosphérique, dégagent, par une compression subite, une chaleur considérable, qui peut enflammer l'amadou. Si la compression se fait dans un vase transparent, on peut apercevoir une vive lumière, même en plein jour. En comprimant les corps, on diminue les intervalles que laissent entre eux les atomes, et alors on suppose que le calorique de ces corps, acquérant plus d'élasticité que celui des corps environnants, s'échappe en manifestant une élévation de température plus ou moins considérable.

Du frottement et du choc.

Tout le monde sait que , quand on frotte deux corps l'un contre l'autre , il y a production de chaleur. Ainsi , en frottant deux morceaux de bois sec , on parvient , après quelques instants , à les enflammer. C'est de cette manière que quelques peuplades sauvages se procurent du feu. Dans le briquet ordinaire , ce sont les parcelles de fer détachées par le choc subit de l'acier contre une pierre dure , qui s'enflamment , et qui , tombant sur des corps combustibles , comme l'amadou , en déterminent la combustion.

De l'électricité.

En parlant des effets mécaniques de l'électricité , nous verrons que la réunion de deux fluides peut rougir les métaux , les fondre , et enflammer les liquides combustibles.

Froid produit par la fusion des corps.

Nous savons que quand un corps solide passe à l'état liquide , il absorbe une quantité très considérable de calorique ; cette absorption du calorique est rendue manifeste dans le mélange de quelques corps.

Mélanges frigorifiques.

Lorsqu'on mêle une partie de sel marin avec une partie de neige ou de glace bien pilée , le mélange

devient liquide, et sa température s'abaisse au-dessous de zéro. Un thermomètre placé dans le mélange, marque 18° . Cet effet est dû à l'affinité réciproque du sel et de l'eau, et à la propriété qu'ont les corps d'absorber du calorique pour passer de l'état solide à l'état liquide.

Quand on veut congeler le mercure, on se sert d'un mélange dont la température s'abaisse bien au-dessous du point de la congélation de ce métal. On prend trois parties de chlorure de calcium cristallisé, que l'on mêle avec deux parties de neige : l'abaissement de température qui en résulte est très considérable : il est quelquefois de 55° ; mais il faut refroidir préalablement le chlorure de calcium et la neige, en les enveloppant séparément d'un mélange de sel marin et de neige à $- 18$ degrés. On conçoit très bien que le thermomètre à mercure n'est plus propre à évaluer une semblable température ; mais alors on se sert du thermomètre à alcool, qui ne se congèle qu'à des températures encore beaucoup plus basses.

CHALEUR ANIMALE.

Parmi les nombreux phénomènes que présente l'économie animale aux spéculations du physicien, aucun n'est plus digne que la chaleur animale d'exercer son génie. Il est, en effet, très curieux de voir que, pour la chaleur, les corps bruts soient soumis à d'autres lois que les corps animés; les uns, en effet, suivent la température de l'atmosphère, et se mettent en équilibre avec elle; les autres, au contraire, conservent le même degré, quand même l'atmosphère est beaucoup plus chaude ou beaucoup plus froide.

Un grand nombre de savants, tels que Gallien, Boërhaave, Haller, John Hunter, Bichat, Legallois, l'infortuné Lavoisier, Crawford et l'illustre Delaplace, dont les sciences déplorent la perte récente, ainsi que MM. Thillaye, Brodier, Chaussat, de la Rive, le célèbre Dulong et Despretz, ont tous, plus ou moins, travaillé à rechercher la cause de ce phénomène.

Pour arriver à la solution de la question, il y avait deux déterminations à établir: 1^o quelle est la chaleur dégagée pendant la formation de l'acide carbonique; 2^o quelle est la chaleur émise par un animal, pendant le temps qu'il forme la même quantité d'acide carbonique.

Nous allons extraire de l'ouvrage de M. Despretz les résultats que nous connaissons, et auxquels il a beaucoup contribué.

« Nous avons dû d'abord, dit-il, diriger notre attention sur la préparation du carbone pur ; car la présence de quelques bases dans le charbon ordinaire aurait pu altérer les résultats des expériences. Nous nous sommes procuré du carbone pur par la décomposition du sucre blanc de première qualité ; ce sucre était d'une blancheur parfaite, d'une très belle cristallisation. Chauffé avec le contact de l'air, il ne laissait pas le moindre résidu. Il a été premièrement décomposé dans un fourneau ordinaire de laboratoire, à une température rouge ; il a été ensuite chauffé dans un fourneau de fondeur, alimenté par un fort soufflet. La calcination, dans ce dernier fourneau, a duré une heure. Le fourneau donnait une chaleur considérable, puisque le cuivre, l'acier, y fondaient avec une grande facilité. Le charbon obtenu de cette manière était brillant, dur, d'une combustion très difficile ; car, placé au milieu des charbons ardents, il rougissait sans produire la plus petite flamme, et à peine était-il retiré du fourneau, qu'il s'éteignait complètement ; un courant d'air l'éteignait également ; sa combustion ne pouvait être entretenue que par l'oxygène pur ; et si le contact de ce dernier, à l'état d'une grande pureté, était suspendu un quart de minute, il devenait noir aussitôt. Ce dernier caractère, joint à la propriété de ne pas donner de flamme, distingue assez le carbone pur. Comme le diamant, il perdait son éclat et devenait terne par un commencement de combustion. Nous nous sommes assuré que 10 grammes de ce charbon ne donnaient pas d'hydrogène appréciable, même après sa transformation en eau par 10 fois son poids

d'oxygène. Les expériences de M. H. Davy prouvent, d'ailleurs, que le charbon fortement calciné ne contient pas $\frac{1}{6000}$ d'hydrogène.

» La moyenne de quatre expériences a donné $79^{\circ}4',7$ pour la quantité de chaleur dégagée dans la transformation d'une partie de carbone en acide carbonique, ou, en d'autres termes, la combustion d'une partie de carbone dégage une quantité de chaleur capable de fondre 52,1 kilogrammes de glace.

» La combustion du gaz hydrogène a donné une quantité de chaleur capable de fondre 315,2 parties de glace.

» Il est naturel de chercher la source de la chaleur animale dans la respiration, puisque les observations apprennent que la température d'un animal est d'autant plus élevée que sa respiration est plus active.

» Il a été de tout temps reconnu que l'air est de nécessité absolue pour l'entretien de la vie des animaux, et qu'aucun animal ne peut respirer qu'un temps limité une même quantité d'air. Les travaux de Mayow, de Black, de Scheèle, de Lavoisier, de Seguin sont trop connus pour les rapporter ici.

» Tous les physiiciens reconnaissent qu'une portion de l'oxygène de l'air est employé à former de l'acide carbonique par la combustion du carbone du sang veineux.

Peu de physiiciens ont pensé que le volume d'acide carbonique, plus l'oxygène restant, représente tout l'oxygène de l'air après la respiration (Dalton, Meusse, Thomson).

» En général, on admet qu'il y a disparition d'une portion d'oxygène. M. Davy porte la diminution à $\frac{1}{82}$; MM. Hallen et Pepys à $\frac{1}{100}$; Bostoch à $\frac{1}{80}$; Crawford et Lavoisier ont reconnu la disparition d'une portion d'oxygène. Quelques expériences de

M. Gay-Lussac sur les oiseaux, les nombreuses recherches de MM. Humboldt et Provençal sur la respiration des poissons, donnent également une absorption d'oxygène manifeste, et il est probable que la disparition d'une certaine quantité d'oxygène dans le contact de l'air et du sang est une condition aussi nécessaire à la vie de tous les êtres qui respirent, que celle de la formation de l'acide carbonique. A la vérité, d'après Spallanzani et Scheèle, l'acide carbonique formé dans la respiration des insectes, ajouté à l'oxygène restant, représenterait tout l'oxygène de l'air. Mais nous sommes porté à croire que ce résultat n'est pas conforme à la vérité.

» Cette disparition est assez considérable pour qu'en général on puisse la rendre manifeste en plaçant un animal dans une cloche, et en y adaptant un tube qu'on fait plonger dans l'eau : à peine l'animal est-il renfermé, qu'on voit l'eau monter dans le tube ; ce qui indique une diminution de volume. La diminution serait bien plus grande, si l'exhalation de l'azote ne remplaçait pas en partie, et quelquefois en totalité, l'oxygène disparu.

» Les opinions sont partagées sur le rôle que joue l'azote dans la respiration : selon les uns (M. Davy, le docteur Henderson), le gaz azote est absorbé dans la respiration de l'homme et des mammifères ; d'après MM. Berthollet et Nysten, il y a dégagement ; enfin, M. Edwards, après un examen attentif des travaux antérieurs, a cru pouvoir admettre qu'il y a simultanément absorption et exhalation. Nous pensons que cette dernière opinion n'est nullement fondée, puisque, sur plus de deux cents expériences que nous avons faites, il y a toujours eu exhalation d'azote. Nous sommes, d'ailleurs, d'accord sur ce point avec M. Dulong.

» Les expériences de M. Magendie sur la nutri-

tion paraissent également favorables à l'exhalation de l'azote : on sait qu'il résulte de ces expériences, que la vie des animaux ne peut être long - temps soutenue par une nourriture formée de sucre , de gomme, d'huile et d'eau distillée.

» Les animaux soumis à ce régime meurent au bout de peu de temps ; leurs urines , d'après M. Chevreul, ne renferment que peu d'acide urique; leur bile est fortement chargée de picromel , principe dans lequel M. Thénard n'a pas trouvé d'azote.

» Il est bien remarquable que les éléments de l'air atmosphérique, au milieu de tant de causes d'altération, conservent toujours le même rapport. La combustion du bois , l'oxidation des métaux , tendent à diminuer l'oxigène; la respiration fait disparaître une certaine quantité de ce gaz , et augmente la quantité d'azote. Il faut donc que la nitrification , dans laquelle l'azote est absorbé, que les travaux des mines et d'autres sources naturelles d'acide carbonique, balancent les premières causes.

» Passons, après ces considérations générales , à la comparaison de la chaleur animale avec la chaleur dégagée dans la respiration.

» On ne trouve pas dans cette recherche la même uniformité, la même constance que dans les recherches sur la matière inorganique. Ici , l'affinité des éléments est sous l'influence de la puissance vitale, que l'âge, la température, l'état de santé, la nature des aliments et diverses autres circonstances peuvent modifier.

« L'animal est placé dans une boîte en cuivre, assez grande pour qu'il n'y soit pas gêné; cette boîte a un rebord dans lequel plonge le couvercle; l'intervalle entre la boîte et le couvercle est rempli de mercure; la petite boîte renfermant l'animal est fixée dans une caisse en cuivre ; on connaît exacte-

ment le poids de tout le cuivre employé et de l'eau pure qui enveloppe la boîte dans laquelle est l'animal. Tout cet appareil est placé sur des supports en bois très sec; l'animal est, d'ailleurs, séparé du cuivre par des baguettes d'osier, afin qu'il ne lui cède pas de sa chaleur propre. L'air est fourni par un gazomètre exactement gradué; cet air passe d'abord dans la boîte pendant assez de temps pour qu'il s'y trouve, au moment où l'on prend la température de l'eau, dans le même état qu'à la fin de l'expérience; la température de l'eau est connue avec une grande précision. Pendant toute la durée de l'expérience, qui est ordinairement de deux heures, l'air arrive sur l'animal avec une vitesse constante. Le gaz qui a été respiré contient ordinairement six pour cent d'acide carbonique; on en détermine la quantité en traitant l'air par la potasse : ce fluide, dépouillé de son acide carbonique, est ensuite analysé par le gaz hydrogène. Afin de connaître avec précision les altérations de l'air dans la respiration des animaux, nous avons analysé souvent l'air atmosphérique qui devait leur être fourni, et le résultat a toujours été de 21 d'oxygène et de 79 d'azote.

» Le volume d'air fourni à l'animal pendant chaque expérience est de 45 à 50 litres. »

D'après un grand nombre d'expériences faites par M. Despretz sur des lapins, des cochons d'Inde adultes, des chiens et des chats adultes et jeunes, des pigeons adultes, des poules, des poulets, des coqs, des canards, des buses, etc., il résulte :

« 1^o Que la respiration est la principale cause du développement de la chaleur animale; que l'assimilation, le mouvement du sang, le frottement des différentes parties peuvent produire la petite portion restante.

» 2° Qu'outre l'oxygène employé à la formation de l'acide carbonique, une autre portion de ce gaz, quelquefois très-considérable relativement à la première, disparaît aussi. On pense généralement qu'elle est employée à la combustion de l'hydrogène du sang; qu'il disparaît en général plus d'oxygène dans la respiration des jeunes animaux que dans la respiration des animaux adultes.

» 3° Qu'il y a exhalation d'azote dans la respiration des mammifères carnivores ou frugivores, et dans la respiration des oiseaux; que la quantité d'azote exhalé est plus grande chez les frugivores que chez les carnivores. »

Il résulte encore, d'après les expériences du même physicien, que, « dans le développement de la chaleur animale, la respiration produit, chez les carnivores, une portion moins considérable de la chaleur animale totale que chez les frugivores, et qu'il en est de même des oiseaux, comparés aux mammifères. »

Nous terminerons en donnant une table de la température moyenne de quelques mammifères, oiseaux et poissons, la température de l'air étant de 15°, 15, et celle de l'eau de 10°, 83.

	Temp. moy.
Neuf hommes âgés de 30 ans	37°, 14
Quatre hommes âgés de 66 ans	37 , 13
Quatre jeunes gens de 18 ans	36 , 99
Trois enfants mâles âgés de 1 à 2 jours	35 , 06
Chien de 3 mois	39 , 48
Chat mâle adulte	39 , 78
Cochon d'Inde adulte.	35 , 76
Quatre chats-huants volant bien	40 , 91
Une chouette adulte.	41 , 47
Un tiercelet adulte	41 , 47
Deux corbeaux adultes	42 , 91
Trois pigeons.	42 , 98

	Temp. moy.
Trois moineaux francs bien couverts de plumes.	39,08
Un moineau complètement élevé	41,67
Un moineau adulte	41,96
Bruant adulte	42,88
Deux corneilles commençant à manger seules . .	41,17
Deux carpes	11,69
Deux tanches	11,54

CHAPITRE XI.

ÉLECTRICITÉ.

Historique.

Théophraste rapporte (1) que si, après avoir frotté un morceau d'ambre, on lui présente des corps légers, tels que le papier, la paille, le bois, etc., réduits en fragments très minces, ces petits corps se précipitent sur l'ambre; d'où antérieurement, Thalès de Milet, qui vivait 600 ans avant J.-C., et qui le premier observa ce fait, crut que l'ambre était animé.

Ce phénomène est resté dans l'oubli pendant plusieurs siècles. Mais Gilbert de Colchester, médecin à Londres, curieux de répéter le fait observé par Thalès, essaya si d'autres corps, dans les mêmes circonstances, n'acquerraient pas la même propriété. Après un grand nombre d'essais, il reconnut que

(1) Voyez son ouvrage sur les pierres précieuses, sect. 53.

l'ambre n'était pas le seul corps capable d'acquérir, par le frottement, la vertu attractive ; qu'un grand nombre d'autres, tels que les pierres précieuses, le verre, le soufre, la gomme-laque, les résines, etc., acquéraient aussi par le frottement cette propriété.

Cette attraction s'exerce à distance, à travers l'air et tous les corps. Boyle observa qu'elle a lieu dans le vide.

Cette propriété, dont la nature nous est inconnue, qui se manifeste dans les corps qui ont été frottés, a été appelée *électricité*, d'Ἠλεκτρος ou Ἠλεκτρον (*electron*), ambre jaune, parce qu'elle a été observée pour la première fois dans cette substance.

§ I.

ATTRACTIONS ET REPULSIONS.

Si on prend un tube de verre, et qu'après l'avoir frotté, on le présente à des corps légers, tels que des morceaux de papier, de la sciure de bois, etc., on voit les petits corps se précipiter sur ce tube, puis en être repoussés, et faire ce trajet pendant long-temps. Le même phénomène a lieu avec la résine, le soufre, etc. Cette observation de l'action répulsive de l'électricité a été faite par Otto de Guéricke, inventeur de la machine pneumatique.

Corps conducteurs et non conducteurs de l'électricité.

On savait que tous les corps n'étaient pas propres à acquérir la vertu électrique, et que les métaux étaient les seuls dont on ne pouvait rien obtenir ; mais un physicien anglais, Étienne Gray, démontra

que si les métaux ne donnaient alors aucun signe d'électricité, ce n'était pas qu'on ne pût développer en eux la propriété attractive, mais seulement parce qu'ils la perdaient au moment même où elle y était produite. Gray fit voir que les corps, après avoir acquis cette propriété, la communiquent aux autres, mais très inégalement : les uns ne la prennent qu'aux points mis en contact, les autres la prennent dans toute leur étendue; d'où Gray fut conduit à établir deux grandes divisions : 1^o *corps non conducteurs*, c'est-à-dire les corps où l'électricité reste au point même où elle a été développée; 2^o *corps conducteurs*, c'est-à-dire les corps qui ont la faculté de transmettre l'électricité dans toute leur étendue, quelle que soit le point de leur surface où elle ait été développée.

Les corps *non conducteurs* sont, en général, la gomme-laque, la cire d'Espagne, les résines, le soufre, le verre, la soie, les fourrures, le bois sec, les gaz secs, etc. Les corps *conducteurs* sont les métaux, les liquides (les huiles ne conduisent pas bien), les substances animales, le charbon calciné, etc.

On dit qu'un corps est *isolé*, lorsqu'il est supporté par un corps *non conducteur*.

Électricité de nature différente.

Nous avons vu qu'un corps électrisé attirait les corps légers qu'on lui présentait, et qu'ensuite il les repoussait; étudions maintenant ces phénomènes avec un peu plus de soin, et pour cela employons un appareil commode à ce genre d'expérience : il se compose d'une petite balle de sureau attachée à l'extrémité d'un fil de soie, fixé lui-même à une tige de verre qui lui sert de support (Fig. 142).

Cet appareil se nomme un *pendule électrique isolé*. Que l'on prenne un bâton de cire à cacheter, par exemple, qu'on le frotte, et qu'ensuite on le présente au pendule; celui-ci se précipitera sur le corps frotté et sera repoussé par lui, comme nous savons; mais tandis qu'il est dans cet état, si on lui présente un tube de verre électrisé, on observe qu'il est attiré de nouveau par le verre, et que, si on lui présente la résine, il en est repoussé. Quand au contraire, on électrise le pendule, en le mettant en contact avec le verre, il en est repoussé, et si on approche un bâton de résine électrisé, il est attiré.

De ce seul fait, on a conclu que l'électricité du verre n'est pas la même que celle de la résine, et qu'il y a par conséquent deux espèces d'électricité, l'une, qui est manifestée par le verre, qu'on a appelée *électricité vitrée* ou *positive*; l'autre par la résine, qu'on a nommée *électricité résineuse* ou *négative*.

Cette découverte de deux espèces d'électricité a été faite, en 1734, par un physicien français, Dufay.

Puisque l'électricité du verre n'est pas la même que celle de la résine, et que tous les corps peuvent acquérir l'une ou l'autre de ces deux électricités, que chacune d'elles se repousse, que la vitrée attire la résineuse, et réciproquement, nous énoncerons ce fait d'une manière simple en disant: *L'électricité de même nom se repousse elle-même, et attire celle de nom contraire*.

Les substances que l'on emploie ordinairement pour développer l'électricité sont: les fourrures, la laine et la soie. On observe qu'elles se chargent constamment d'électricité de nom contraire à celle que prend le corps frotté: ainsi, par exemple, la résine, frottée avec la laine, prend l'électricité résineuse, tandis que la laine prend celle de nom contraire,

ou la vitrée; le soufre, frotté avec une peau de chat, se trouve électrisé résineusement, la peau, au contraire, est électrisée vitreusement.

État naturel des corps.

De ce que le corps frottant et le corps frotté manifestent toujours les deux électricités, l'un la vitrée, l'autre la résineuse, on conclut que ces deux électricités existent naturellement dans les corps, et qu'ainsi *l'état naturel d'un corps* est celui où les deux électricités sont combinées; et comme alors le corps n'a pas la propriété attractive, on dit que ces deux électricités se neutralisent; mais veut-on lui donner la vertu électrique, il suffit de le froter, et à l'instant même il peut produire les phénomènes que nous venons de signaler.

On peut vérifier ce que nous venons de dire par une expérience qui est très concluante. Elle consiste à prendre deux disques, l'un de verre et l'autre de métal, de cuivre, par exemple (Fig. 143), et à les froter l'un contre l'autre. Chacun de ces disques porte un tube de verre qui permet de le tenir facilement, en même temps qu'il l'isole, et, tandis qu'ils ne seront pas séparés, qu'on les mette en présence d'un pendule électrique non isolé, aucun signe d'électricité ne se manifestera; mais que l'on ôte l'un d'eux, à l'instant le pendule sera attiré, et il le sera sans cesse, si on lui présente séparément chaque disque.

On aurait pu se servir d'un pendule isolé, et l'on aurait reconnu que le verre était électrisé vitreusement, et le cuivre résineusement.

Le frottement n'est pas le seul moyen employé pour séparer les deux électricités, mais il est le seul

qui ait été connu dès l'origine de cette branche de la physique, et le seul aussi à l'aide duquel on sépare les deux fluides pour faire la plupart des expériences dont nous devons parler plus loin.

Les moyens connus pour séparer les deux électricités, outre le frottement, sont :

1° La Chaleur ;

2° La Pression ;

3° Le Contact ;

4° Les Combinaisons chimiques.

Mais pour rendre sensible l'électricité développée par ces différents modes, il faut faire usage d'appareils que nous ne pouvons exposer que plus tard : ce qui nous oblige à renvoyer l'étude de ces phénomènes, puisque nous ne pouvons les étudier qu'après avoir donné la description des instruments qui rendent sensibles de très petites quantités de fluide électrique.

§ II.

LOI QUE SUIVENT LES ATTRACTIONS ET LES RÉPULSIONS ÉLECTRIQUES.

La loi que suivent les attractions et les répulsions électriques, à diverses distances, a été découverte par Coulomb, physicien français.

L'instrument à l'aide duquel Coulomb a pu déterminer cette loi est fondé sur cette propriété qu'ont les fils de métal, que si on les tord d'un certain nombre de degrés, ils font, pour revenir à leur position primitive, un effort justement proportionnel à l'angle de torsion.

L'instrument se compose d'un cylindre de verre ABCD (1) (Fig. 144), de 32 centim. de diamètre, le 32 centim. de hauteur, recouvert par un disque de verre E, de 35 centimètres de diamètre, percé, au son milieu, d'un trou circulaire de 4 cent., 5 de diamètre, sur lequel s'élève un cylindre en verre de 35 centim. de hauteur; la partie supérieure de ce cylindre porte un micromètre. On fixe à la partie mobile du micromètre un fil très fin de métal, d'argent, par exemple, et on l'attache de telle sorte qu'il ne puisse changer de position, à mesure que l'on tourne le micromètre supérieur. A l'extrémité inférieure du fil on attache, au moyen d'une pince *q*, une aiguille très légère, faite de gomme-laque, laquelle porte à son extrémité effilée une petite balle de sureau *b*. Coulomb adaptait, à l'autre extrémité de l'aiguille, un disque *c* de papier imbibé de térébenthine, dont l'objet est de ralentir les oscillations. Il faut que le poids de la pince *q*, plus celui de l'aiguille (le poids de l'aiguille doit être le moindre possible) tende le fil, mais ne le rompe pas.

Le micromètre supérieur marquant zéro, on s'arrange pour que l'extrémité *a* de l'aiguille corresponde au zéro tracé sur la division *mn* qui est au milieu du cylindre ABCD (1): et c'est à quoi l'on parvient facilement en faisant mouvoir le plateau E.

(1) Les balances électriques sont ordinairement carrées; cela tient à ce qu'il est plus facile de trouver de grandes lames de verre, que de larges cylindres. La forme n'influe en rien sur les résultats.

(2) Pour faire cette division, on décrit un cercle qui a pour rayon le demi-diamètre du cylindre ABCD: on le divise en 360 parties ou degrés, puis l'on trace ces degrés sur une bande de papier que l'on colle à l'intérieur ou à l'extérieur du cylindre,

Le disque de verre E est percé de deux autres trous t' . Dans le trou t , on introduit un tube de verre recouvert de gomme-laque, et portant, à son extrémité inférieure, une balle de sureau b' ; on descend de ce tube jusqu'à ce que la balle b' soit vis-à-vis le zéro de la division mn , et touche par conséquent la balle b de l'aiguille.

L'appareil étant ainsi disposé, Coulomb électrisa les balles b et b' , au moyen d'une petite boule métallique fixée à l'une des extrémités d'un bâton de cire d'Espagne, qu'il introduisit par le trou t' du disque E. Il y eut répulsion, et la balle du sureau b fut repoussée à 36 degrés de la balle b' .

Coulomb tourna le micromètre supérieur de 126 degrés en sens contraire de la force qui maintenait la balle b à 36 degrés de la balle b' . La balle b se rapprocha de la balle b' , elles s'arrêtèrent au dix-huitième degré. Coulomb tourna une deuxième fois le micromètre, toujours dans le même sens, et il le tourna de 567 degrés. La torsion du fil dans sa partie supérieure était égale au même nombre de degrés, et elle aurait été la même dans toute la longueur du fil, si la répulsion électrique n'eût pas balancé la force de torsion. La balle b continua de se rapprocher du zéro de la division mn , et elle se maintint à 8 degrés et demi.

Dans la première expérience, on voit que le fil est tordu de 36 degrés, par la répulsion de l'électricité des balles bb' , mais que l'angle formé par cette répulsion diminue à mesure que l'on tourne le micromètre dans le sens opposé à la force répulsive, et qu'ainsi cette force balançant la torsion du fil est égale à $126 + 18 = 144$. D'où l'on voit que, pour maintenir la balle b à moitié de la distance primitive, il faut lui opposer une force quatre fois plus grande. Enfin, dans la dernière expérience, les

balles étant à la distance de 18 degrés, Coulomb fut obligé de tourner le micromètre de 567 degrés, pour ramener la balle b à 8 degrés et demi de la balle fixe b' . On voit encore par là que, pour maintenir la balle b' à cette nouvelle distance, il faut lui opposer une force quatre fois plus grande que celle qui la maintenait à 18 degrés; d'où il suit que la loi des répulsions électriques agit en raison inverse du carré de la distance.

Coulomb s'est assuré par des expériences analogues à celles que nous venons de rapporter, que les attractions électriques suivent la même loi.

L'action répulsive des deux balles n'est pas mesurée par l'angle qu'elles forment entre elles, mais par la corde de l'arc qui joint leurs centres.

La perte de l'électricité, le jour où Coulomb fit ses expériences, fut seulement de 1 degré dans 3', les balles étant à la distance de 36 degrés l'une de l'autre; mais comme il n'employa que deux minutes pour faire ses expériences, il put, sans erreur sensible, négliger cette perte.

§ III.

DE LA DÉPERDITION DE L'ÉLECTRICITÉ PAR L'AIR ET PAR LES SUPPORTS.

Après avoir montré par expérience la loi que suivent les attractions et les répulsions électriques, il est bon de faire connaître les sources d'erreurs que l'on rencontre quand on veut mettre une grande exactitude dans la vérification de cette loi. Car l'expérience nous apprend que, quand un corps conducteur électrisé est soutenu par des supports isolants, l'électricité de ce corps décroît sensiblement;

de sorte qu'après un temps plus ou moins long, ce corps ne donne plus aucun signe d'électricité. Ainsi, pour rendre les expériences comparables, il faut éviter cette perte, ou au moins connaître suivant quelles lois se fait ce décroissement, afin d'en tenir compte dans les résultats.

Perte par l'air.

Deux causes paraissent faciliter la perte de l'électricité : l'une est le contact de l'air, l'autre l'absence de corps parfaitement non conducteurs. Nous avons dit, pag. 301, que l'air est un mauvais conducteur de l'électricité; cela est vrai; mais il n'est mauvais conducteur qu'autant qu'il est sec, c'est-à-dire qu'il ne contient pas de vapeur aqueuse : s'il est un peu humide, il commence à devenir conducteur, et il le devient d'autant plus qu'il contient plus d'humidité. Ainsi, comme les corps électrisés sont toujours plongés dans l'air, et que ce fluide touche tous les points de leur surface, il en résulte que chaque molécule d'air en contact avec un corps électrisé prend une quantité d'électricité qui dépend de sa grosseur et de sa faculté conductrice, et qu'ensuite elle est repoussée et remplacée aussitôt par une autre molécule, qui, par son contact, s'électrise comme la première, et, comme elle, est chassée et remplacée par une troisième. La même chose arrive pour toutes les molécules qui avoisinent le corps; d'où l'on voit que par ces contacts, renouvelés un grand nombre de fois, l'électricité du corps s'affaiblit d'autant plus que l'air est meilleur conducteur.

La deuxième cause de déperdition de l'électricité, comme nous l'avons dit, provient de l'isolement imparfait des corps que nous appelons *non*

conducteurs. Ainsi, le verre, la cire d'Espagne, la gomme-laque, qui sont les corps les plus isolants, conduisent encore une électricité énergique. Pour s'en convaincre, il suffit de former des cylindres avec ces différentes substances, et de les mettre en contact avec une source constante d'électricité, car si après les avoir laissés quelques instants, on rompt le contact, et qu'ensuite on présente l'extrémité qui touchait la source à un pendule électrique, on voit qu'elle s'est chargée de l'électricité de cette source, non pas seulement dans la partie qui était en contact; car si l'on coupe l'extrémité de ce même cylindre qui touchait la source, on observe que l'électricité s'est aussi propagée sur sa surface, avec une intensité décroissante.

Cette dernière cause de déperdition est encore favorisée par les vapeurs qui se trouvent dans l'air : en effet, les vapeurs se fixent à la surface des corps conducteurs, et s'y attachent d'autant plus qu'elles sont plus abondantes, et suivant aussi que ces corps ont plus d'affinité pour elles. On voit par là que les supports sont une espèce de canal par lequel l'électricité s'échappe des corps électrisés. Il est aisé de concevoir que les molécules de vapeurs qui s'attachent ainsi à chaque support, et qui sont en même temps en contact avec le corps électrisé, se chargent d'électricité : alors si la force répulsive qu'exerce ce corps contre les molécules est moindre que l'affinité de la matière du support pour ces mêmes molécules, elles transmettront leur électricité aux molécules voisines, et celles-ci aux suivantes, de sorte que l'électricité passera le long du support, d'une molécule à l'autre, et finira par se perdre complètement si le support n'a pas une longueur suffisante.

Il suit de là que, pour étudier suivant quelle loi se dissipe l'électricité par le seul contact de l'air, il

faut empêcher la perte qui se fait par les supports, ou bien rendre cette perte moindre que celle qui s'effectue par le contact de l'air, pendant l'instant où l'on opère : et c'est à quoi Coulomb est parvenu.

Les substances qu'employait ce physicien pour isoler les corps qu'il électrisait, étaient la cire d'Espagne ou la gomme-laque pure. Il en formait de petits cylindres d'une demi-ligne de diamètre, et de 18 à 20 lignes de longueur. Ces petits cylindres isolaient parfaitement une balle de sureau, de 5 à 6 lignes de diamètre. Lorsque l'air était sec, un fil de soie très fin, passé dans de la cire d'Espagne bouillante, et n'ayant que $\frac{1}{4}$ de ligne de diamètre et 5 à 6 lignes de longueur, suffisait pour isoler. Un fil de verre très fin, de 5 à 6 lignes de longueur, n'isolait la balle que pendant les jours très secs, et lorsque cette balle était très peu chargée d'électricité. Les cheveux et la soie, non enduits de cire d'Espagne, sont à peu près dans le même cas.

Après ces divers essais, Coulomb souda la boule fixe de sa balance à l'extrémité d'un fil de gomme-laque, de 18 à 20 lignes de long; et pour rendre l'isolement plus parfait, il termina la suspension par un fil de soie recouvert de cire. La balle mobile était de même dimension, et fixée à l'une des extrémités d'une aiguille de gomme-laque, suspendue horizontalement à l'extrémité inférieure d'un fil d'argent. Cet appareil était tellement sensible, qu'une force correspondante au poids de $\frac{1}{340}$ de grain suffisait pour tordre le fil de 360 degrés.

Les deux balles étant au zéro de la division, et la torsion du fil étant nulle, on électrise les premières au moyen d'une épingle à grosse tête, fixée à l'un des bouts d'un bâton de cire à cacheter. La balle mobile est chassée, et s'arrête à 40 degrés, par exemple : on tord le fil au moyen du micromètre,

de manière à ramener la boule mobile à 20° , et pour cela il faut le tordre de 140° ; alors la force de torsion qui fait équilibre à la répulsion des deux balles est de $140^\circ + 20^\circ = 160^\circ$.

On observe l'instant précis où la balle mobile répond à 20° : il est 2 heures 10 minutes, par exemple.

Comme l'électricité se perd, la force qui maintient les balles à 20° l'une de l'autre diminue graduellement; ainsi, pour les observer toujours à cette distance, il faut détordre le fil. Supposons qu'il faille le détordre de 30° : comme la torsion du fil est diminuée de ces 30° , la balle mobile est chassée et va au-delà de 20° . On observe une deuxième fois l'instant très précis où la balle mobile arrive à 20° ; supposons qu'il soit alors 2 heures 13 minutes.

Dans la première expérience, la force répulsive est mesurée par la torsion du fil, qui est égale à $140^\circ + 20^\circ$ ou 160° ; et 3 minutes après, à la même distance, cette même force n'est plus mesurée que par $110^\circ + 20^\circ$ ou 130° . D'où il suit que la perte par le contact de l'air a été de 30° pendant 3 minutes : et comme, dans des intervalles très courts, la perte est proportionnelle au temps, il en résulte que cette perte a été de 10° par minute.

En prenant la force répulsive moyenne entre les deux essais, qui est égale à 145° , on voit que, pour ce jour-là, la force électrique des deux balles diminuait de $\frac{1}{4}$, ou $14,5$ par minute.

Coulomb s'est assuré que, pour un même jour, pourvu que l'état hygrométrique de l'air ne variât pas, le rapport de la quantité d'électricité perdue par le contact de l'air, à la quantité totale, est une quantité constante, et que ce rapport ne varie qu'avec l'hygromètre. D'où il résulte que, pour un

même état de l'air, la perte de l'électricité est *proportionnelle à son intensité*.

Perte par les supports.

Il reste maintenant à connaître suivant quelle loi l'électricité se dissipe le long des supports isolants. Coulomb a fait à ce sujet un grand nombre d'expériences pour lesquelles il employait sa balance électrique telle que nous l'avons décrite; seulement au lieu de suspendre la balle fixe à un cylindre de gomme-laque, il l'attachait à l'extrémité d'un fil de soie écru de 15 pouces de long. La balle mobile était très bien isolée, et de même dimension que la balle fixe. Coulomb électrisa les deux balles, et observa leur force répulsive de la même manière que dans les expériences précédentes; il calcula ensuite la quantité d'électricité perdue le long du fil, en tenant compte de la perte occasionée par l'air, et trouva que l'intensité électrique décroît bien plus promptement et en plus grande quantité le long du fil de soie que par le seul contact de l'air, mais que ce décroissement se ralentit, et qu'enfin il arrive un terme où l'électricité perdue le long du fil est tout-à-fait nulle; le fil isole alors parfaitement: ce terme n'arrive que quand l'intensité électrique de la balle est suffisamment affaiblie.

Coulomb trouva que les supports peuvent très bien isoler quand l'intensité électrique est réduite à un certain degré, mais que ce degré varie suivant la nature du support; et l'expérience lui a appris que le degré de l'intensité électrique où un fil de soie, un cheveu, ou tout autre support (pourvu qu'il soit cylindrique et très fin), commence à isoler, l'état de l'air étant le même, est *proportionnel à la racine carrée de sa longueur*; c'est-à-dire

que, si un support isole une certaine quantité d'électricité, il ne pourra isoler une quantité double de la première qu'en lui donnant une longueur quatre fois plus grande.

§ IV.

DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA SURFACE DES CORPS CONDUCTEURS ISOLÉS.

Nous avons maintenant à rechercher de quelle manière se répand l'électricité dans les corps métalliques isolés.

En vertu de la répulsion qu'un fluide exerce sur lui-même, il est facile de concevoir que l'électricité ne peut rester au centre d'une sphère métallique, puisque chaque particule de ce même fluide se repousse continuellement, pourvu toutefois que la matière dont est formée cette sphère n'ait aucune action chimique sur le fluide électrique. Ainsi l'électricité se distribuera sur toute la surface de la sphère; et comme cette action répulsive s'exerce indéfiniment, il est clair que si l'air dont le corps est environné se trouve saturé de vapeur aqueuse, l'électricité se répandra dans ce milieu, et que le corps cessera d'être électrisé. C'est pour cela que si l'on fait des expériences qui ne demandent qu'une faible électricité, il faut avoir le soin de rendre l'air environnant parfaitement sec.

Pour se convaincre que l'électricité communiquée à un corps conducteur se porte entièrement à sa surface, où elle est maintenue par l'air, on peut prendre une sphère métallique isolée, y pratiquer un trou en forme de cône, dont le sommet est vers le centre de cette sphère (fig. 145), et ensuite

électriser l'appareil à l'aide d'une petite boule métallique isolée que l'on plonge dans la cavité de la sphère.

Que l'on prenne ensuite une autre petite boule semblable à la première, mais qui soit à l'état naturel, qu'on la porte au centre de la sphère, et qu'après l'en avoir retirée on la présente au pendule électrique, on verra qu'elle ne manifeste aucun signe d'électricité. Si on lui fait ensuite toucher l'extérieur de la sphère, et qu'on la présente au pendule, celui-ci sera vivement attiré.

Distribution de l'électricité sur les corps de diverses formes.

Si le corps que l'on considère est une sphère, il est évident, comme nous venons de le dire, qu'en vertu de la loi de répulsion électrique, l'électricité se répandra uniformément à la surface du corps, et y formera une couche très mince, limitée par la surface même de ce corps.

Dans un *ellipsoïde* de révolution, la distribution du fluide électrique n'est plus uniforme, et la tension est plus forte aux extrémités du grand axe que partout ailleurs.

Partage du fluide électrique entre les corps en contact.

Le partage du fluide électrique entre plusieurs corps en contact ne dépend pas de la nature de ces corps, mais seulement de leur forme. Coulomb a fait à ce sujet un grand nombre d'expériences, desquelles il résulte, qu'entre deux sphères de même

diamètre, le fluide électrique se partage également, quelle que soit leur nature ;

Qu'entre des sphères de diamètres différents, les quantités d'électricité varient dans un rapport différent et plus petit : en supposant que les surfaces des sphères soient dans le rapport de 1 à 15, les quantités du fluide électrique seront comme 1 est à 11.

Distribution du fluide électrique à la surface des corps en contact.

Coulomb a trouvé que quand deux sphères égales se touchent, l'électricité se refoule de part et d'autre du point de contact, de sorte qu'en ce point la tension est nulle, et que quand les globes sont très inégaux, la tension électrique varie davantage sur le petit, depuis le point de contact jusqu'à 180°, tandis que sur le gros globe elle est plus uniforme.

Coulomb a montré que la distribution du fluide électrique sur une série de petits globes égaux se fait de la manière suivante : les tensions électriques des globes de chaque extrémité sont exactement les mêmes ; cette tension va en décroissant très rapidement du 1^{er} au 2^e, du 2^e au 3^e globe, puis ce décroissement devient très lent jusqu'au milieu du système, où la tension est nulle.

Le même physicien a encore cherché comment se partage le fluide électrique entre une sphère de 8 pouces de diamètre et des cylindres de diamètres différents, mais de même longueur : il a trouvé que

L'intensité électrique sur le globe étant 1,00

L'intensité électrique sur un cylindre
de 2 pouces de diamètre et de 30 pouces
de longueur est 1,30

L'intensité électrique sur un cylindre
d'un pouce de diamètre 2,00

L'intensité électrique sur un cylindre
de deux lignes de diamètre. 9,00

On voit d'après ces résultats que l'intensité que prend un cylindre en contact avec un globe électrisé, est d'autant plus grande que ce cylindre est d'un plus petit diamètre. Sur un cylindre très délié, la tension électrique peut devenir assez considérable pour vaincre la pression de l'air, et décharger ainsi le corps avec lequel il est en contact. On conçoit facilement d'après cela, la facilité avec laquelle les pointes lancent le fluide électrique.

M. Poisson a soumis au calcul la distribution du fluide électrique à la surface des corps, et il a trouvé que ce fluide doit se porter à la surface des corps, pour y former une couche excessivement mince, terminée à l'extérieur par la surface du corps, et à l'intérieur par une surface très voisine de la première.

§ V.

ELECTRICITÉS COMBINÉES, LEUR SEPARATION A DISTANCE.

Pour effectuer cette séparation, on prend un cylindre métallique arrondi à ses extrémités (Fig. 146), supporté par un pied de verre, enduit d'une couche de gomme-laque, pour que l'isolement soit plus parfait; et à chacune des extrémités de ce cylindre on place un petit pendule *aa'*. On met cet appareil à quelques pouces de distance d'un corps *A* électrisé (Fig. 147) : il faut que cette distance soit telle, que l'électricité du corps *A* ne puisse pas passer sur le

cylindre B. Alors on observe les phénomènes suivants.

Les pendules placés aux extrémités du cylindre B s'écartent de la verticale, et accusent ainsi la présence de l'électricité.

Si l'on approche du cylindre B un pendulé électrique isolé, on trouve qu'il est attiré dans toute la longueur du cylindre, à l'exception d'un point où l'attraction est nulle, et qui varie selon la distance du corps électrisé A au cylindre B.

Si l'on approche du cylindre B un pendule isolé et électrisé, on remarque qu'il est attiré par une extrémité et repoussé par l'autre, ce qui fait voir que chaque extrémité du cylindre est chargée d'électricité contraire.

On reconnaît si l'électricité qui est dans l'extrémité du cylindre la plus près du corps électrisé A, est de même espèce que celle de ce corps, en prenant un pendule isolé, lui donnant de l'électricité de même espèce que celle du corps A; le présentant ensuite au corps A et successivement à chaque extrémité du cylindre, on observe qu'il est repoussé par le corps A, qu'il est attiré par l'extrémité du cylindre, la plus près de A, et qu'au contraire, il est repoussé par l'extrémité la plus éloignée.

Si on éloigne du corps A le cylindre B, en le prenant par son support, à l'instant il ne donne plus aucun signe électrique. Le phénomène se reproduira en l'approchant de nouveau du corps électrisé A, et il cessera aussitôt qu'on l'en éloignera.

On s'assure que le corps électrisé A ne communique pas de son électricité au cylindre B, en prenant un disque de papier doré, que l'on fixe à l'une des extrémités d'un fil de gomme-laque (Fig. 148), et voici comment il faut opérer : on touche avec ce disque (que l'on nomme plan d'épreuve) le corps

A, on le porte ensuite dans la balance de Coulomb, on observe la répulsion et l'on compare cette première observation à une deuxième, que l'on doit faire après avoir mis le cylindre B sous l'influence du corps électrisé A. Si l'expérience est bien faite, on reconnaîtra, de cette manière, qu'aucune portion d'électricité du corps A ne s'est transmise sur le cylindre B, et qu'ainsi le corps électrisé n'a fait aucune perte, si ce n'est celle qui s'effectue par l'air et les supports.

D'après ce qui précède, on voit que le corps A ne transmet point de son électricité au cylindre B, et que cependant celui-ci manifeste les deux fluides. Le même phénomène se produisant toutes les fois que l'on met un corps conducteur non électrisé, quelle que soit sa forme, près d'un corps électrisé, on en a conclu que les deux électricités existent naturellement dans les corps. Mais ceux-ci ne donnent aucun signe d'électricité, parce que, dans cet état, les deux fluides sont combinés, c'est-à-dire qu'ils se neutralisent l'un l'autre, et forment ce qu'on appelle du *fluide neutre* ou à l'état naturel.

Ainsi le frottement qui nous semblait créer les deux fluides, ne sert qu'à en détruire la combinaison. Une fois séparés, ils produisent des phénomènes que nous avons reconnus, et un grand nombre d'autres que nous verrons par la suite. Nous avons dit que le corps frottant et le corps frotté se constituaient dans des états électriques opposés; maintenant nous voyons qu'il doit en être ainsi.

Tous les corps électrisés attirent les corps légers; mais cette attraction n'a lieu qu'autant que ces petits corps sont conducteurs. En effet, le corps électrisé décompose par influence les électricités combinées des petits corps: si cette décomposition ne se fait pas ou ne se fait que très lentement, on conçoit qu'il

faudra plus ou moins de temps pour qu'il y ait attraction ; si, aucontraire , la décomposition s'opère subitement , à l'instant même l'attraction se manifeste.

On peut, par une expérience, rendre sensible ce que nous venons de dire. Pour cela on suspend, au moyen de deux fils de soie, deux petites balles de gomme-laque, dont l'une est revêtue d'une enveloppe métallique, d'or par exemple ; on approche de ces balles un bâton de cire d'Espagne électrisé, ou tout autre corps chargé de l'électricité, et l'on observe que la balle revêtue d'or est attirée à l'instant même, tandis qu'il faut un temps assez considérable pour que la balle non revêtue se précipite sur le bâton de cire électrisé. Cela tient à ce que la décomposition des deux fluides se fait instantanément sur la balle dorée, et que sur l'autre, il faut un temps très appréciable.

Pour se rendre un compte exact de la décomposition par influence, et pour en avoir une idée précise, reprenons la première expérience et analysons le phénomène.

Soit A (Fig. 147) un corps électrisé vitreusement, B un cylindre métallique à l'état naturel, isolé et sous l'influence de A. Voici ce qui se passe : l'électricité vitrée du corps A décompose les électricités combinées du cylindre B, attire l'électricité contraire, c'est-à-dire la résineuse dans l'extrémité *c* du cylindre la plus près du corps A, et repousse celle de même nom dans l'extrémité *d*, d'où l'on voit que les petits pendules placés à chaque extrémité du cylindre devront s'écarter; c'est en effet ce qui arrive. Les choses étant dans cet état, si l'on ôtait au corps A son électricité, ou bien qu'on l'éloignât de B, au même instant les deux électricités qui sont dans chaque moitié du cylindre se

combineraient, et les petits pendules ne donneraient plus aucun signe d'électricité. Le même phénomène se produirait, si, au lieu d'ôter le corps A, on enlevait le cylindre B, en le prenant par son support. Mais si pendant que B est sous l'influence de A, et que ses électricités sont séparées, on s'en allait mettre l'extrémité *d* du cylindre en communication avec le sol, alors l'électricité vitrée, qui est repoussée à cette extrémité, s'échapperait dans le sol, et les petits pendules de l'extrémité *d*, qui étaient très écartés, se rapprocheraient tout-à-coup; au contraire, la divergence des fils placés à l'autre extrémité, augmenterait. Si l'on rompt la communication, et que l'on éloigne le cylindre B, on le trouve électrisé résineusement.

D'après ces notions, il est facile de comprendre le jeu des instruments que l'on nomme électromètres, et d'un grand nombre d'autres dont la théorie ne peut être conçue, si l'on ne se rend pas un compte exact de la décomposition par influence.

Électroscopes.

Les *électroscopes* ou *électromètres* sont des instruments à l'aide desquels on détermine la nature de l'électricité des corps, et qui servent à découvrir les plus petites quantités de ces fluides.

Ces instruments sont fondés sur ce principe, que nous avons reconnu être général, savoir : l'électricité de même nom se repousse, et attire celle de nom contraire; et sur la décomposition par influence.

L'électroscope le plus simple est celui dont nous nous sommes déjà servi. C'est une petite balle de sureau suspendue par un fil de soie. Ce fil est attaché, par sa partie supérieure, à un support en verre (fig. 148). Nous avons dit de quelle manière on se

servait de cet appareil, que l'on nomme aussi *pendule électrique*.

Électroscope d'Haüy.

Cet électroscope se compose d'une aiguille cylindrique en cuivre, terminée, à chaque extrémité, par une boule de même métal. Le milieu de cette aiguille porte une chappe, au moyen de laquelle on la pose sur un pivot (Fig. 149). On isole l'appareil en mettant le pivot sur un disque de verre, comme le représente la fig. 10; de cette manière, l'électroscope est isolé; et peut conserver long-temps l'électricité qu'on lui donne.

Pour se servir de l'électroscope d'Haüy, on commence par électriser l'aiguille, en la mettant en contact avec un corps chargé d'une électricité connue, puis on lui présente les corps que l'on veut essayer, et l'on reconnaît alors l'espèce d'électricité qu'ils possèdent, selon qu'ils attirent ou qu'ils repoussent l'une ou l'autre extrémité de l'aiguille.

Électromètre à cadran.

Il a été imaginé, en 1792, par Henly. Cet instrument se compose d'une tige AB, de substance conductrice (Fig. 150); à la partie supérieure de cette tige est fixé un demi-cercle d'ivoire CD, sur lequel sont des divisions; au centre de ce cercle est une petite tige d'ivoire *t*, terminée par une balle de sureau. L'extrémité A de la tige est terminée en boule, et l'extrémité B est vissée sur un pied de cuivre. Cet électroscope se met ordinairement sur les machines électriques.

Électromètre à feuilles d'or, inventé par Bennet, en 1786.

La partie essentielle de cet instrument consiste en deux feuilles d'or suspendues à une tige de cuivre AB (Fig. 151), dont la partie supérieure est terminée par une boule. On met les feuilles d'or, et une partie de la tige, dans une cloche en verre (Fig. 152), afin de garantir les lames de l'agitation de l'air. La partie inférieure du vase est fermée par un disque de cuivre.

Si l'on veut, avec cet électromètre, reconnaître l'espèce d'électricité dont un corps est chargé, il ne s'agit que de donner aux lames une électricité connue; et suivant que le corps, en le présentant à une certaine distance au-dessus de l'instrument, éloigne ou rapproche les lames, on en conclut l'espèce de son électricité.

Électromètre à pailles.

Cet électromètre diffère du précédent en ce que les feuilles d'or sont remplacées par deux pailles d'environ trois pouces de longueur, qui sont suspendues à la tige par deux petits anneaux métalliques. On met les pailles dans un flacon de verre carré (Fig. 153) : des divisions sont tracées sur l'une des faces, et l'on a soin que le mouvement des pailles se fasse parallèlement à cette face, afin de mesurer leur écart. Cette disposition est due à Volta.

La division ne peut servir qu'à indiquer un degré d'électricité plus ou moins faible, et non à mesurer l'énergie de l'électricité, car l'action de la pesanteur agit sans cesse, et d'autant plus que les pailles sont

plus obliques : ainsi la force répulsive n'est pas proportionnelle à leur écart. Ceci s'applique à tous les électromètres, soit à lames d'or, à balles de sureau, etc.

Électromètre à balles de sureau.

Dans cet électromètre on a remplacé les pailles ou les lames d'or par deux fils métalliques très fins, aux extrémités desquels sont attachées deux petites balles de sureau (Fig. 154). Il a été imaginé par Cavallo, physicien anglais.

Électroscope de Coulomb.

L'électroscope de Coulomb n'est autre chose que sa balance électrique, dans des dimensions beaucoup moindres. L'aiguille est suspendue, non par un fil de métal, comme dans la balance, mais par un fil de soie tel qu'il sort du cocon. Le disque fixe est remplacé par une petite tige en cuivre, terminée par deux boules *ab* (Fig. 155).

Au commencement de l'expérience, on s'arrange pour que le petit disque de clinquant touche le bouton *a*; l'on donne de l'électricité à la tige, ainsi qu'au disque de clinquant, soit en touchant le bouton *b* avec un corps électrisé, soit en décomposant ses électricités combinées. Tout se passe absolument comme dans les autres électromètres, seulement on doit préférer celui-ci, en ce que ses effets sont tout-à-fait indépendants de la pesanteur.

Electrophore.

L'électrophore, comme l'indique son nom, est

un instrument qui a la faculté de conserver l'électricité pendant un laps de temps assez considérable. Il a été inventé par Volta, et non par Wilcke, comme le croient quelques personnes.

Il se compose, 1^o d'un plateau AB de résine (Fig. 156), que l'on nomme ordinairement le gâteau de l'électrophore; 2^o d'un plateau métallique D, auquel est adapté un tube de verre *v*. Pour s'en servir, on commence par électriser la résine, en la frappant avec une peau de chat (nous savons qu'elle s'électrise résineusement); ensuite on pose le plateau D sur le gâteau. Alors l'électricité résineuse de la résine agit sur les électricités combinées du plateau D, les décompose, attire dans la partie inférieure l'électricité vitrée, et repousse l'électricité résineuse dans la partie supérieure. Maintenant, si l'on fait communiquer le plateau D avec le sol, en le touchant avec un doigt, par exemple, on aura une petite étincelle qui sera due à l'électricité résineuse, qui est repoussée dans la partie supérieure du plateau, et qui s'échappe dans le sol. L'électricité vitrée étant attirée par la résineuse du gâteau, ne pourra pas s'en aller par le doigt, et elle ne pourra pas non plus se combiner avec l'électricité résineuse du gâteau, vu que celui-ci étant isolant, il ne permet pas à l'électricité de passer d'un point de sa surface à un autre. D'où l'on voit que, si l'on rompt la communication du plateau avec le sol, il ne restera que de l'électricité vitrée, qui ne sera pas sensible tant que le plateau restera posé sur le gâteau. Mais si l'on enlève le plateau, cette électricité devient libre, et si on présente le doigt, on en voit jaillir une vive étincelle. On pourra de nouveau replacer le plateau sur le gâteau, sans être obligé d'électriser celui-ci de nouveau; une nouvelle décomposition se fera, on appliquera le doigt et l'on

obtiendra une étincelle autant de fois que l'on voudra.

L'électrophore est généralement employé quand on ne veut avoir que de petites quantités d'électricité : on s'en sert fréquemment dans les laboratoires, pour opérer la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène, etc., etc.

Machines électriques.

Le principe sur lequel est fondé le jeu de ces machines, est le même pour toutes, bien que leur forme soit différente. Nous allons donner en détail la description de l'une d'elles, et le jeu des autres sera ensuite facile à comprendre.

La machine électrique la plus simple se compose d'un plateau en verre *v* (Fig. 157), tenu dans une position verticale, fixé à un axe auquel une manivelle imprime un mouvement de rotation ; quatre coussins *aa'bb'*, en communication avec le réservoir commun, formés de cuir et rembourrés avec du crin, sont destinés à frotter le plateau ; un ressort est adapté à chacun d'eux, pour que la pression qu'ils exercent contre le verre soit durable, et qu'elle se fasse toujours de la même manière. Un cylindre métallique *C*, en forme de fourche, est disposé horizontalement, de manière que les deux branches *cc'* soient très près du plateau ; l'extrémité de chaque branche porte une pointe. On isole le cylindre *C*, en lui donnant pour soutiens des bâtons de verre, recouverts d'une couche de vernis à la gomme-laque, afin que l'isolement soit le plus parfait possible. Tout ce système repose sur une table, comme le représente la fig. 157.

L'électricité est développée par le frottement que les coussins exercent sur les deux surfaces du

plateau (1). La vitrée reste sur le verre, tandis que la résineuse se répand sur les coussins, et de là dans le sol. Voyons maintenant ce qui arrive lorsqu'une partie quelconque du plateau vient à passer vis-à-vis les branches *cc'* du conducteur C. Et d'abord, nous n'allons considérer ici que la branche *c*, afin de mettre plus de clarté dans l'explication; car il est évident que ce qui se passe dans une moitié du plateau, doit se passer dans l'autre exactement de la même manière.

L'électricité vitrée du plateau agit sur les électricités combinées de la branche *c*, les sépare, attire celle de nom contraire, c'est-à-dire la résineuse, jusque dans la pointe; et comme les pointes laissent écouler l'électricité avec une grande facilité, on conçoit que l'électricité résineuse devra s'échapper par celle qui est à l'extrémité de la branche *c*. Elle abandonne en effet le conducteur, et se porte sur le plateau, où elle neutralise une égale quantité de

(1) Le frottement du cuir contre le verre ne donne que très peu d'électricité; il suffit de mettre, sur sa surface, quelque composé pour augmenter considérablement le développement. La substance que l'on emploie habituellement, du moins en France, est celle que l'on connaît sous le nom d'*or mussif* (persulfure d'étain). On peut encore employer, avec avantage, l'amalgame que l'on obtient en faisant fondre, dans un creuset, parties égales de zinc et d'étain. Quand la fusion est complète, on jette l'alliage qui en résulte dans son poids de mercure, que l'on a préalablement chauffé: on agite le tout de manière à obtenir une poudre très fine. Quand on emploie l'un ou l'autre de ces composés, il faut avoir le soin que la couche qui recouvre chaque frottoir soit uniforme, afin que sa surface soit bien appliquée contre le verre; en outre, elle doit avoir peu d'épaisseur.

fluide vitré ; mais comme le plateau tourne continuellement , il arrive que la portion de sa surface qui est à l'état naturel , se trouve remplacée par une autre qui s'est électrisée , comme la première , en passant entre les coussins , et qui , à son tour , décompose une nouvelle quantité d'électricité naturelle du conducteur , et se trouve , comme la première , remise à l'état naturel par la résineuse , qui provient de la décomposition. Ainsi l'électricité vitrée , répandue sur chacune des parties du plateau qui ont été successivement frottées , décompose constamment une nouvelle portion de l'électricité naturelle du conducteur ; car on voit que , aussitôt qu'une des parties du plateau est à l'état naturel , elle se trouve remplacée par une nouvelle partie électrisée.

Maintenant que l'on conçoit comment l'électricité vitrée du plateau décompose le fluide naturel du conducteur , et aussi comment elle est neutralisée par la résineuse qui provient de cette décomposition , examinons ce que devient la vitrée , qui était combinée avec la résineuse du conducteur avant la décomposition.

A l'instant où la décomposition commence , la résineuse est attirée par la vitrée du plateau , tandis que celle-ci refoule dans le conducteur C l'électricité de même nom ; mais dès que la résineuse abandonne le conducteur , la vitrée de celui-ci devient libre , elle se répand sur sa surface , et la quantité qui s'y trouve est d'autant plus grande , qu'il y a eu plus de fluide décomposé. On peut enlever cette électricité sous forme d'étincelle , en approchant du conducteur C la main , ou tout autre corps conducteur non isolé. De cette manière , le conducteur se trouve presque déchargé , et il suffit d'approcher le doigt une deuxième fois pour en opérer la décharge complète.

Pour que l'électricité du plateau ne se perde point par le contact de l'air, on adapte à chaque paire de coussins, une enveloppe de taffetas qui se prolonge jusque vers la pointe de chaque branche du conducteur, dans le sens du mouvement, de manière que les parties du plateau se trouvent dans leur trajet enveloppées par le taffetas. L'effet de la machine est considérablement augmenté par ces enveloppes.

La Fig. 158 représente la machine électrique ordinaire. La quantité d'électricité donnée par cette dernière machine est plus considérable que celle qui est fournie par celle que nous venons de décrire; aussi lui est-elle de beaucoup supérieure. Dans cette machine, on voit que la forme du conducteur est changée, et que chaque branche qui avoisine le plateau est terminée de manière que le verre se trouve enveloppé par un petit conducteur armé de pointes, afin d'émettre plus promptement l'électricité résineuse qui résulte de la décomposition du fluide naturel du conducteur.

Van Marum de Harlem a construit une machine électrique, qui donne à volonté l'électricité vitrée ou l'électricité résineuse. Elle est représentée Fig. 159.

Il existe encore une machine, mais qui n'est plus, ou du moins qui n'est que fort peu employée: Nairne en est l'inventeur. Elle se compose d'un cylindre de verre creux, que l'on fait tourner à l'aide d'une manivelle. D'un côté de ce cylindre, et sur sa surface est appliqué un frottoir, et du côté opposé est un conducteur armé de pointes. Quand on veut, avec cette machine obtenir du fluide vitré, il faut faire communiquer le frottoir avec le sol; mais si, au contraire, on veut avoir du fluide résineux, il faut isoler le frottoir, et faire communiquer le conducteur avec le sol. Un morceau de taffetas est

adapté au frottoir, et se répand sur la surface du cylindre dans le sens du mouvement, afin de diminuer la perte de l'électricité.

On adapte sur les machines électriques l'électromètre à cadran, que nous avons décrit page 321. Il indique la charge plus ou moins grande du conducteur, par la répulsion qu'éprouve la petite balle placée à l'extrémité de la tige d'ivoire. Au lieu de l'adapter sur la machine de Nairne, on y met deux petits pendules, l'un est fixé au frottoir, et l'autre au conducteur.

Afin d'avoir à sa disposition une quantité considérable d'électricité, on a imaginé d'agrandir la surface des conducteurs. On emploie à cet effet une douzaine de conducteurs cylindriques, de laiton ou de fer-blanc, ayant six ou huit pieds de longueur et quelquefois davantage, mais seulement d'un pouce et demi à trois pouces de diamètre. On suspend ces cylindres par des cordons de soie, en ayant le soin de les mettre parallèlement les uns aux autres; on les fait communiquer entre eux par des tiges ou bien des cylindres creux de même métal (Fig. 160). C'est ce système que l'on appelle *conducteurs secondaires*. On les charge d'électricité en les mettant en communication, par le moyen d'une chaîne, avec le conducteur d'une machine électrique. Quand on juge qu'il y a assez d'électricité accumulée (et l'électromètre à cadran en donne le moyen), on rompt la communication à l'aide d'un crochet de verre, et l'on a ainsi une quantité très grande d'électricité à sa disposition.

§ IV.

ÉLECTRICITÉS DISSIMULÉES.

Nous avons vu dans le chapitre précédent, qu'à l'aide des machines électriques, on accumulait sur les corps conducteurs une certaine quantité d'électricité, et que si on dépassait cette limite, l'électricité s'échappait sous forme d'étincelles ou d'*aigrettes lumineuses*. On peut s'en assurer en faisant l'expérience dans l'obscurité.

Les instruments qui ont pour objet de retarder cette limite ont été appelés *condensateurs*. Ils se composent essentiellement de deux corps conducteurs, séparés par un corps non conducteur.

OEpinus de Pétersbourg a construit un condensateur où le corps non conducteur est une lame d'air. Il se compose de deux plateaux circulaires en cuivre, supportés par des corps isolants. La partie inférieure de chaque support est terminée de telle sorte qu'elle puisse glisser dans une rainure pratiquée dans le pied de l'appareil, afin d'augmenter ou de diminuer la distance qui sépare les plateaux.

Pour accumuler l'électricité sur ces plateaux, il faut mettre l'un d'eux en communication avec une source électrique, et faire communiquer l'autre avec le sol. Le fluide de cette source se répandra sur le plateau qui est en contact avec elle, et agira à travers la couche d'air sur le fluide naturel de l'autre plateau; il le décomposera, attirera vers lui le fluide de nom contraire, repoussant dans le sol le fluide de même nom que lui. Mais la source continuant à donner de l'électricité au plateau avec lequel elle est en contact, ce fluide décomposera une nouvelle portion du fluide naturel du second plateau, repous-

ra dans le sol le fluide de même nom , et attirera vers lui le fluide de nom contraire. D'où l'on voit qu'il est possible d'accumuler sur ces plateaux , en grande quantité , les deux fluides opposés. Leur accumulation pourra avoir lieu jusqu'à ce que la tension électrique sur chaque plateau fasse équilibre à la pression que l'air exerce sur eux. Si on dépasse ce point , les fluides contraires se précipitent l'un vers l'autre à travers l'air en produisant une explosion.

Mais avant que cette réunion des deux électricités puisse se faire , on peut en accumuler une grande quantité sur chaque plateau. En établissant la communication d'un plateau à l'autre au moyen de l'excitateur (Fig. 161), on opère à l'instant la réunion des deux fluides , et l'on forme du fluide naturel.

Si , au lieu d'établir la communication d'un plateau à l'autre par un arc métallique , on allait poser une main sur l'un , et toucher le deuxième avec l'autre main , on éprouverait une commotion violente et tout-à-fait différente de celle que produit l'étincelle de la machine électrique.

Le condensateur peut encore se décharger par les contacts successifs : seulement , il faut remarquer que le plateau en communication avec la source électrique , et que nous appellerons 1^{er} plateau , contient une plus grande quantité de fluide que le 2^e plateau , comme étant obligé , à distance , l'en dissimuler sur celui-ci une certaine quantité. Quand on enlève l'excès du 1^{er} plateau , une petite partie du fluide qui était dissimulée sur le 2^e , devient libre , et s'échappe si on lui donne un conducteur ; mais comme cette électricité retenait aussi en partie l'électricité du 1^{er} plateau , une nouvelle portion de celle-ci devient libre , peut être enlevée comme précédemment , et ainsi de suite. De là il

résulte que l'on peut décharger le condensateur par des contacts réitérés un grand nombre de fois : leur nombre est tout-à-fait dépendant de la charge du condensateur et de l'état hygrométrique de l'air pendant le jour où l'on opère.

Condensateur en taffetas.

Cet instrument a été construit par Volta, qui le fit connaître en 1782. Il se compose d'un plateau métallique AB (Fig. 162), lequel porte à son milieu un tube de verre, et d'un second plateau de bois CD, recouvert d'un taffetas, qui est très mauvais conducteur du fluide électrique. Pour charger ce condensateur, il faut poser le plateau métallique sur le disque de bois recouvert de son taffetas ; et pour le faire communiquer sûrement avec le sol, on le tient dans une main, ensuite on met le plateau AB en contact pendant quelques secondes avec une très faible source d'électricité, et l'on sépare du plateau CD le plateau AB que l'on présente ensuite à l'électroscope.

Électromètre condensateur.

En modifiant la forme du condensateur en taffetas, Volta en a fait connaître un autre qui, étant adapté à l'électromètre à lames d'or, nous donne l'instrument le plus précieux que nous possédions, lorsqu'il s'agit de rendre sensible de petites quantités de fluide électrique (Fig. 163). Ce condensateur est formé de deux plateaux métalliques séparés par une simple couche de vernis à la gomme-laque, appliquée sur chaque plateau. Le plateau inférieur est adapté à la partie supérieure de l'électromètre

à lames d'or, et communique avec celle-ci, ou directement, ou par le moyen d'une tige.

Bouteille de Leyde.

La bouteille de Leyde n'est qu'un condensateur dont la forme est tout-à-fait différente de ceux que nous venons de décrire. Elle fut découverte en 1746, par deux physiciens de Leyde, Muschenbroeck et Cunéus. Le vase dont ils se servaient était une bouteille, et l'abbé Nollet a appelé l'instrument *bouteille de Leyde*, en y ajoutant, comme on voit, le nom de la ville où cette découverte a été faite.

Cette bouteille se compose d'un flacon à col renversé, dont la grandeur est dépendante de la quantité d'électricité que l'on veut accumuler. On remplit son intérieur de feuilles de cuivre ou d'or, et l'on recouvre sa surface extérieure d'une feuille d'étain; cette feuille ne doit aller qu'aux quatre cinquièmes de la hauteur de la bouteille; on adapte à son col un bouchon dans lequel on fait passer à frottement dur, une tige en cuivre, jusqu'à ce qu'elle touche les feuilles: la partie supérieure de cette tige est courbée en forme de crochet et terminée par une boule (Fig. 164).

On charge cet appareil en mettant, à l'aide du bouton de cuivre, la garniture intérieure en contact avec le conducteur d'une machine électrique en activité, et l'on fait communiquer la garniture extérieure avec le sol, en tenant la bouteille dans la main. On peut de même la charger en tenant le crochet dans la main, et touchant le conducteur de la machine électrique avec la panse de la bouteille. Ce que nous avons dit du condensateur d'OEpinus s'applique exactement à la bouteille de Leyde.

A l'époque où la découverte de la bouteille de

Leyde fut faite, tous les savants voulurent éprouver la commotion de cet instrument, qui passait alors pour un prodige. Les uns lui ont attribué des propriétés qu'elle ne possède pas ; les autres, surpris d'un pareil phénomène, en ont tellement exagéré les effets, que Mussenbroeck, dans une lettre à Réaumur, dit qu'après avoir électrisé l'eau qu'il venait de mettre dans une bouteille très mince, il se sentit frapper sur les bras, les épaules et la poitrine, si violemment qu'il en perdit la respiration, et fut quelques jours pour revenir du coup et de la frayeur qu'il venait d'éprouver; puis il ajoute qu'il ne voudrait pas recevoir une deuxième commotion pour le royaume de France (1).

Charge par cascade.

Cette opération consiste à charger en même temps plusieurs bouteilles de Leyde, que l'on dispose de la manière suivante : on accroche la première bouteille au conducteur d'une machine électrique ; on en suspend une deuxième à un crochet fixé sous la première bouteille, et qui fait partie de la garniture extérieure ; celle-ci porte pareillement un crochet qui permet d'en suspendre une troisième, et l'on peut ainsi en réunir autant qu'on veut, en ayant le soin de faire communiquer l'extérieur de la dernière bouteille avec le sol (Fig. 165).

Ce système étant disposé de la sorte, on fait jouer la machine, et toutes les bouteilles se chargent. Supposons que l'électricité du conducteur soit vitrée : elle passera dans l'intérieur de la première bouteille,

(1) *Histoire de l'électricité*, pag. 30.

décomposera , à mesure qu'elle s'y accumulera , le fluide naturel de la garniture extérieure, attirera la résineuse et repoussera la vitrée dans l'intérieur de la deuxième bouteille ; ce fluide vitré décomposera à son tour le fluide naturel de la deuxième bouteille, attirera le résineux à l'extérieur et repoussera le vitré dans l'intérieur de la troisième bouteille, et ainsi de suite. D'après cela, il est clair que toutes les bouteilles se chargent en même temps, que tous les intérieurs sont vitrés, et les extérieurs résineux.

On peut décharger ce système d'une seule fois, en faisant communiquer l'intérieur de la première bouteille avec l'extérieur de la dernière. De cette manière la commotion est très faible ; car on ne reçoit que celle qui est produite par l'électricité de la garniture intérieure de la première et de la garniture extérieure de la dernière bouteille.

Il est préférable, quand on emploie ce procédé, de séparer les bouteilles après les avoir chargées, afin d'opérer la décharge sur chacune d'elles séparément.

Batterie électrique.

Une batterie électrique est la réunion de plusieurs grandes bouteilles de Leyde. Pour former un semblable système, on prend de grandes jarres, que l'on recouvre, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, de feuilles d'étain jusqu'à une certaine hauteur. Le reste est recouvert d'une couche de cire d'Espagne, pour empêcher le passage de l'électricité d'une armure à l'autre. On réunit plusieurs de ces jarres en faisant communiquer ensemble tous les intérieurs, à l'aide de tiges métalliques réunies par une boule

qui est au milieu du système. On fait également communiquer ensemble tous les extérieurs, en posant les jarres dans une espèce de boîte dont le fond est revêtu d'une feuille d'étain (Fig. 166).

On décharge la batterie en se servant de l'arc exciteur ; pour cela on pose l'une des branches sur la garniture extérieure, et l'autre sur la garniture intérieure. On obtient alors une étincelle qui est capable de fondre, et même de volatiliser les métaux.

§ VII.

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHERIQUE.

L'IDENTITÉ de la foudre avec l'électricité a été soupçonnée par Franklin, qui le premier donna les moyens de vérifier ses conjectures. Il avait découvert que les pointes, présentées à une certaine distance d'un corps électrisé, lui enlevaient totalement son électricité. Franklin attendait avec une grande impatience que l'on élevât un clocher à Philadelphie, pour y planter une barre métallique terminée en pointe, afin de voir si, comme il le pensait, la foudre n'était autre chose que du fluide électrique, et si elle pourrait descendre dans la barre de fer. Ne pouvant faire l'expérience aussitôt qu'il l'aurait voulu, Franklin fut devancé par Dalibard, physicien français, qui avait eu connaissance de ses idées. Cette grande épreuve fut faite à Marly-la-ville, bourg situé à six lieues de Paris.

Dalibard fit construire une espèce de guérite, dans laquelle il plaça une table dont les pieds étaient de verre ; cette table était percée, dans son milieu, d'un trou destiné à recevoir la partie inférieure

d'une barre de fer de quarante pieds de longueur, qu'il fit placer verticalement. L'extrémité supérieure de cette barre était terminée en pointe. L'appareil, ainsi disposé, il ne s'agissait plus que de voir si, à l'approche d'un nuage porteur de la foudre, la barre ne donnerait aucun signe d'électricité. Dalibard était absent, lorsque, le 10 mai 1752, entre deux et trois heures du soir, un coup de tonnerre annonça à la personne désignée par Dalibard, qu'il fallait se rendre à l'appareil. Aussitôt qu'elle fut arrivée, elle tira des étincelles tout-à-fait semblables à celles de nos machines, mais beaucoup plus fortes. On chargea des bouteilles de Leyde, et il fut permis de produire, avec l'électricité des nuages, tous les phénomènes que l'on avait obtenus jusqu'alors en se servant de l'électricité de nos machines.

Cette expérience fut répétée un grand nombre de fois, et quoique variée de beaucoup de manières, elle donna toujours le même résultat.

Tandis que ces choses se passaient en France, Franklin suivait toujours ses idées; mais, désespérant de pouvoir faire bientôt son expérience faute du clocher, il imagina d'envoyer un cerf-volant vers les nuages. Cet essai fut couronné d'un plein succès. Il tira de la corde qui retenait le cerf-volant un grand nombre d'étincelles, y chargea une bouteille de Leyde et fit plusieurs expériences d'après lesquelles il lui fut permis de conclure que la foudre n'est autre chose que de l'électricité. Cette expérience fut faite en juin 1752, un mois après celle de Dalibard. Franklin ne savait nullement ce qui s'était passé en France.

Les nuages ne sont pas les seuls corps aériens dans lesquels on démontre la présence du fluide électrique, qui tantôt est vitré et tantôt résineux. On parvient, à l'aide d'appareils tels, par exemple,

que les électroscopes, à faire voir que l'atmosphère, calme ou agitée, renferme constamment de l'électricité.

On trouve, en général, que les couches d'air qui avoisinent la terre, et même celles qui s'élèvent jusqu'à une grande hauteur, sont électrisées vitreusement, et que la quantité d'électricité qu'elles renferment va en croissant à mesure que la hauteur augmente.

Maintenant que l'existence de l'électricité dans l'atmosphère et dans les nuages est bien constatée, il s'agit de rechercher d'où cette électricité tire son origine, et quelles sont les causes qui concourent à son développement.

Un grand nombre de physiciens ont voulu expliquer de quelle manière l'atmosphère se trouvait chargée d'électricité, mais tous ont échoué; les uns supposaient qu'elle s'exhalait de la terre; les autres, qu'elle était développée par le frottement plus ou moins considérable de l'air, soit contre la surface de la terre, soit contre lui-même; d'autres enfin imaginaient qu'elle était due à la décomposition des matières fermentescibles qui s'élèvent dans l'atmosphère.

Au premier aperçu, on voit que toutes ces hypothèses ne sont pas capables de soutenir un examen rigoureux, et qu'elles ont été dictées, pour ainsi dire, par l'écart de l'imagination. Aussi un physicien célèbre, Volta, voyant que toutes ces conjectures n'aboutissaient à rien, essaya à son tour d'expliquer le phénomène, et émit, en 1780, une opinion qui fut accueillie de tous les physiciens, et qui, depuis cette époque, a été généralement reçue. Volta avait cru trouver, dans l'évaporation des liquides, la cause principale de l'électricité atmosphérique; mais M. Pouillet vient de constater, par un grand nom-

bre d'expériences, qu'il a variées de bien des manières, que ce célèbre savant s'était trompé, et qu'ainsi l'évaporation ordinaire, qui se fait à la surface des liquides, ne développait point d'électricité.

Il résulte des expériences de M. Pouillet, que, dans toute combinaison de l'oxygène avec un corps de nature quelconque, l'oxygène dégage constamment de l'électricité vitrée, et que le corps avec lequel se combine l'oxygène dégage l'électricité résineuse. Ce résultat est tellement vrai, que M. Pouillet le reproduit à volonté.

M. Pouillet a cherché si la combinaison qui se fait continuellement entre le carbone des plantes et l'oxygène de l'air, dégage de l'électricité. Il a été conduit à ce résultat, que la végétation développe de l'électricité, et qu'elle est une cause puissante de la production de l'électricité atmosphérique.

M. Pouillet a été conduit, par les expériences que renferme son travail, aux conclusions suivantes :

« 1^o La simple évaporation, lente ou rapide, ne donne jamais de signe d'électricité.

» 2^o Les dissolutions alcalines, de soude, de potasse, de baryte, de strontiane; etc., quelque peu concentrées qu'elles soient, donnent de l'électricité : l'alcali qui reste après l'évaporation de l'eau est électrisé positivement.

» 3^o Les autres dissolutions de sels ou d'acides donnent pareillement de l'électricité; le corps combiné avec l'eau prend alors l'électricité résineuse. »

De tous les sels, le muriate de soude est celui avec lequel M. Pouillet a fait le plus grand nombre d'expériences; car on suppose bien, ajoute ce physicien, « que, de tous les sels que j'ai soumis à l'expérience, le muriate de soude est celui qui a été examiné

» avec le plus de soin , à cause de l'analogie qui
 » doit exister entre les résultats qu'il présente et
 » les phénomènes qui se produisent à la surface de
 » la mer , sur une échelle incomparablement plus
 » grande. Et puisqu'une seule goutte d'une faible
 » dissolution de muriate de soude donne de l'élec-
 » tricité , par la ségrégation que l'évaporation dé-
 » termine entre les molécules d'eau et celles du sel,
 » il n'y a aucun doute que, sur la vaste étendue des
 » mers, la séparation chimique, qui se fait aussi par
 » l'évaporation , ne développe de l'électricité.

» En généralisant cette conséquence , en l'appli-
 » quant à tous les phénomènes naturels où il y a en
 » même temps évaporation et séparation chimique,
 » on voit que, puisqu'il n'y a, à la surface de la terre,
 » ni des lacs, ni des mers, d'eau parfaitement pure,
 » puisque partout où est cet élément si universel ,
 » il y est en combinaison , il faut bien qu'il se dé-
 » gage de l'électricité toutes les fois qu'il s'exhale
 » pour aller former les vapeurs parfaitement pures
 » de l'atmosphère.

» Ainsi, voilà une autre source d'où l'électricité
 » atmosphérique tire son origine. »

Paratonnerres.

Aussitôt que Franklin eut découvert l'identité parfaite de la foudre avec l'électricité, il inventa les paratonnerres.

Dans les premiers temps de cette belle découverte, on pensait que les paratonnerres étaient plus propres à faire foudroyer les bâtiments qu'à les préserver de ce terrible fléau. Mais bientôt l'on a reconnu l'efficacité de ces appareils, et aujourd'hui on ne construit point d'édifice un peu considéra-

ble, sans mettre, sur son sommet, un ou plusieurs paratonnerres, selon que cet édifice a plus ou moins d'étendue.

Un paratonnerre se compose d'une tige de fer, dont l'extrémité supérieure est terminée en pointe. Pour que cette pointe ne s'altère pas, on la fait de platine, de cuivre, ou en général d'un métal peu oxidable à l'air; quelquefois même, et c'est le procédé le plus en usage, on dore l'extrémité de la tige, qui par ce moyen reste très long-temps aiguë, et conserve le paratonnerre en bon état.

La hauteur moyenne d'un paratonnerre est de vingt-cinq pieds: la tige doit avoir, à sa base, vingt-cinq lignes de diamètre.

Les conducteurs sont des barres de fer de sept à huit lignes de diamètre, ou bien des cordes de même grosseur que les barres, faites avec des fils de fer. Il faut avoir grand soin que le conducteur se perde dans un terrain très humide, ou même dans un puits.

On estime qu'un paratonnerre peut défendre, autour de lui, des atteintes de la foudre, un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur.

Effets mécaniques de l'électricité.

Outre les phénomènes d'attraction et de répulsion que nous avons fait connaître, l'électricité peut, lorsqu'elle est accumulée en grande quantité, produire des effets tout-à-fait surprenants.

Ainsi elle peut fondre et même volatiliser l'or, l'argent, le fer, l'étain, etc. Il suffit pour cela de faire passer le courant électrique qui résulte de la décharge d'une batterie, à travers des fils ou des feuilles de ces métaux, pour qu'à l'instant ils soient réduits en poussière ou en vapeur.

Un morceau de bois, placé entre deux pointes, est brisé en éclats au moment où un fort courant électrique le traverse.

Du coton saupoudré de résine s'allume par la décharge d'une seule bouteille de Leyde.

Une simple étincelle électrique enflamme quelques corps combustibles, l'alcool, l'éther. Il suffit de mettre l'un de ces liquides dans un vase métallique, et de faire tomber sur sa surface une faible étincelle, pour qu'il s'enflamme.

L'étincelle électrique opère la combinaison des mélanges gazeux inflammables.

L'étincelle électrique est bleuâtre; elle marche en ligne droite, lorsqu'elle ne parcourt que de petits intervalles, mais elle décrit des zigzags, comme dans les éclairs, lorsqu'elle franchit de grands intervalles.

Action de l'électricité sur l'économie animale.

En médecine, on emploie l'électricité de plusieurs manières, savoir :

Par bain. On nomme bain électrique, la quantité plus ou moins grande d'électricité que l'on fait passer dans une personne isolée, en contact immédiat avec une machine électrique.

Par aigrettes. Cette opération consiste à approcher d'une personne actuellement électrisée une pointe, que l'on promène sur les différentes parties de son corps. La sensation que l'on éprouve ressemble à celle d'un vent frais ou d'un léger picotement.

Par étincelles. L'électrisation par étincelles se fait en tirant des étincelles, à l'aide d'un conducteur, de la partie malade d'un homme électrisé.

Par commotion. Cette opération consiste à recevoir la décharge d'une bouteille de Leyde.

La médecine n'a réellement retiré aucun avantage marqué en faisant agir ainsi l'électricité sur l'économie animale. Cependant il est permis de considérer le fluide électrique comme moyen excitant, pouvant produire de bons effets dans quelques paralysies.

CHAPITRE XII.

GALVANISME.

De l'Électricité développée au contact de substances hétérogènes.

CETTE nouvelle branche de la physique date de 1789. Galvani, professeur d'anatomie à Bologne, observa des mouvements convulsifs sur des animaux récemment privés de la vie, quand on établissait par un arc métallique une communication des nerfs aux muscles. Galvani crut voir, dans ces crispations, l'existence d'un fluide nerveux, qu'il comparait au fluide électrique. Il fit un grand nombre de recherches pour s'assurer si ce fluide résidait dans les nerfs plutôt que dans les muscles ; ne pouvant réussir, il considéra les muscles comme étant une espèce de bouteille de Leyde, dont l'intérieur, toujours chargé d'électricité, tendait sans cesse à se mettre en équi-

libre avec l'extérieur. Dans cette hypothèse, les nerfs servent de conducteur.

Cette explication de Galvani fut adoptée par un grand nombre de physiciens; mais Volta fit voir qu'on n'obtenait jamais de convulsions musculaires, s'il n'y avait hétérogénéité de substances. En partant de ce principe, Volta fut conduit à la découverte de l'instrument qui porte son nom.

Le contact de deux substances quelconques développe de l'électricité. Les métaux possèdent cette propriété à un très haut degré.

Que l'on prenne deux plaques métalliques, zinc et cuivre, soudées l'une à l'autre, et que l'on mette l'extrémité cuivre en contact pendant quelques secondes avec le plateau collecteur de l'électromètre condensateur, en tenant l'extrémité zinc à la main, et faisant communiquer le plateau inférieur du condensateur avec le sol; que l'on rompe la communication du plateau inférieur avec le sol, et que l'on enlève en même temps la plaque: dans cet état, le condensateur ne donnera aucun signe d'électricité; mais que l'on sépare le plateau collecteur du reste de l'appareil, on verra alors un écart assez considérable entre les lames.

Le même phénomène n'a pas lieu, si on touche le plateau collecteur avec le zinc; mais il suffit de mettre entre celui-ci et le plateau une simple feuille de papier mouillé pour que le phénomène se produise.

Ce qui se passe dans cette expérience est facile à concevoir. Le seul contact du cuivre avec le zinc sépare les deux fluides, le résineux se porte sur le cuivre, et le vitré sur le zinc. Le cuivre, par son contact avec le plateau collecteur, lui cède son électricité; cette électricité décompose le fluide naturel du deuxième plateau, attire dans la partie supé-

rieure celle de nom contraire, et repousse dans le sol celle de même nom; de sorte que quand on enlève le plateau collecteur, l'électricité qui était dissimulée dans le plateau inférieur, devient libre, descend dans les lames et les fait diverger.

Construction de la pile de Volta.

La pile de Volta se compose de disques métalliques, zinc et cuivre, que l'on réunit deux à deux; et pour que le contact soit plus sûrement établi, on soude le zinc au cuivre. C'est ce système qu'on nomme *couple*, *paire*, ou *élément voltaïque*. Pour construire une pile, on place les uns sur les autres plusieurs de ces couples, en ayant grand soin de les séparer par une rondelle de drap imbibée d'une dissolution saline, ou d'eau légèrement acidulée. La figure 167 représente la pile de Volta.

On a varié de bien des manières la forme de cet appareil : la figure 168 représente la *pile à auges*. Dans cette pile, les couples sont carrés et séparés les uns des autres par un petit espace que l'on remplit d'eau acidulée.

Dans la figure 169, les couples ont une autre disposition. Cette pile, dont la forme est due au docteur Wollaston, agit avec beaucoup d'énergie. Les couples sont fixés à une traverse de bois, ce qui permet de les plonger à volonté dans des vases où se trouve un liquide conducteur.

Le conducteur humide qui sépare les éléments, a pour objet de conduire à l'élément suivant l'électricité qui se développe sur un élément.

Au contact du zinc et du cuivre, il existe une force que l'on nomme *force électromotrice*. Cette force sépare les fluides; le vitré se répand sur le zinc, et le résineux sur le cuivre; cette décomposition se

fait jusqu'à ce que la tension électrique sur chaque disque fasse équilibre à la force électromotrice.

Maintenant, supposons un élément communiquant au sol par le côté cuivre, et analysons le phénomène. Au contact du zinc et du cuivre, la force électromotrice y développe les deux fluides : le fluide vitré se porte sur le zinc, le résineux sur le cuivre; appelons $\mathbf{1}$ la quantité de fluide vitré qui est sur le zinc, et \mathbf{o} l'état du cuivre, puisqu'il est en communication avec le sol; plaçons sur ce premier zinc une rondelle humide : cette rondelle prendra au zinc de son électricité, et ce premier zinc n'aura plus $\mathbf{1}$ de tension. Mais comme la force électromotrice agit sans cesse, elle fait une nouvelle décomposition, jusqu'à ce que le zinc et la rondelle aient $\mathbf{1}$ de tension : plaçons sur la rondelle humide un second couple, en mettant le cuivre en bas, comme pour le premier couple, et supposons pour un moment qu'au contact du zinc et du cuivre de ce second couple, la force électromotrice n'existe pas; alors on conçoit facilement que l'électricité de la rondelle et du premier zinc passera dans le deuxième couple, qui, en vertu de la force électromotrice du premier couple, prendra la tension $\mathbf{1}$ égale à celle du premier zinc. Rendons maintenant à ce deuxième couple la force électromotrice, cette force développera sur le deuxième zinc $\mathbf{1}$ de vitré, et sur le deuxième cuivre $\mathbf{1}$ de résineux, ce qui fait $\mathbf{2}$ de tension sur le deuxième zinc; mais ce $\mathbf{1}$ de résineux du deuxième cuivre y trouve $\mathbf{1}$ de vitré; il se combine avec lui, forme du fluide neutre, et ce deuxième cuivre retombe à l'état \mathbf{o} , état qui ne dure toutefois pas long-temps, car la rondelle humide lui communique le vitré du premier zinc, jusqu'à ce qu'il ait $\mathbf{1}$ de tension; le premier zinc, il est vrai, n'a plus $\mathbf{1}$, mais sa force électromotrice répare continuelle-

ment sa perte, jusqu'à ce qu'il ait atteint sa tension primitive. Le même raisonnement s'applique au troisième couple et aux suivants; seulement le troisième zinc aura de tension 3, le quatrième zinc 4, le cinquième zinc 5; et de même le troisième cuivre aura de tension 2, le quatrième cuivre 3, le cinquième cuivre 4, etc.; la pile alors sera chargée d'électricité vitrée.

Si la pile communiquait au sol par son extrémité zinc, elle se chargerait dans ce cas de fluide résineux.

Lorsque la pile est isolée par ses deux extrémités, l'une des moitiés est à l'état positif et l'autre à l'état négatif. Lorsque le nombre des couples de la pile isolée est pair, la tension sur les deux éléments du milieu est nulle. En général, les éléments situés à égale distance du milieu ont la même tension, bien que leurs électricités soient de nom contraire. La tension électrique aux extrémités de la pile est proportionnelle au nombre des éléments.

Outre les piles que nous venons de signaler, on en construit d'autres, où le conducteur humide est remplacé par du carton ou du papier. Ces piles, que l'on nomme *piles sèches*, et dont les éléments ont à peu près dix lignes de diamètre, ne peuvent être employées avec avantage. La tension à leurs extrémités est très considérable, vu le grand nombre d'éléments; mais la quantité totale d'électricité est très faible. Cependant on les emploie à faire un es-
pèce de mouvement appelé perpétuel.

Effets physiques et chimiques de la pile.

Si l'on joint les extrémités d'une pile en activité par un fil métallique d'une certaine grosseur, et qu'on en remplace une portion par un autre fil très fin, la température de ce fil s'élèvera, passera au

rouge, et il sera brûlé et projeté au loin par petits globules, si la pile est assez puissante. La pile peut fondre tous les métaux; seulement, quand on veut en opérer la fusion, il faut se servir d'une pile à larges éléments, parce que la quantité d'électricité qu'elle donne est plus grande que la quantité fournie par une pile d'un même nombre d'éléments, mais plus petits.

Décomposition de l'eau.

Pour opérer la décomposition de l'eau, il faut faire passer le courant voltaïque à travers une masse d'eau faiblement acidulée. L'appareil que l'on emploie se compose d'un entonnoir de verre, dont la petite ouverture est fermée par un bouchon de liège, où passent deux fils de platine qui s'élèvent jusqu'à une certaine hauteur dans l'entonnoir (Fig. 170). On remplit cet appareil aux trois quarts environ d'eau légèrement acide, et on fait arriver le courant voltaïque à travers ce liquide, par les deux fils métalliques. On observe alors une multitude de petites bulles qui se dégagent, traversent la masse liquide, et arrivent à sa surface avec une grande rapidité. On recueille ces bulles de gaz en renversant sur chaque fil de platine une petite cloche remplie d'eau; de cette manière, on trouve que la cloche qui est sur le fil qui correspond au pôle vitré de la pile, renferme de l'oxygène, et que celle qui est sur le fil qui correspond au pôle résineux renferme de l'hydrogène. De plus, ces gaz sont justement dans la proportion qui forme l'eau. D'après cela, il est évident qu'une partie de l'eau a été décomposée, que son oxygène s'est porté au pôle vitré et son hydrogène au pôle résineux; ce qui suppose, comme on voit, que le pôle positif de la pile a une espèce

d'attraction pour l'oxygène, et le pôle négatif pour l'hydrogène. On explique cette décomposition de l'eau, en concevant que l'intervalle qui sépare les deux fils est rempli par des molécules d'eau qui se décomposent et se recomposent alternativement. La première molécule d'eau cède son oxygène au pôle positif, et l'hydrogène qui provient de cette décomposition se combine avec l'oxygène de la molécule d'eau la plus proche; de même l'hydrogène de cette molécule d'eau se combine avec l'oxygène de la suivante, et ainsi de molécule à molécule, jusqu'à ce que l'hydrogène provenant de la dernière molécule d'eau rencontre le fil négatif; là, ne pouvant plus se combiner avec de nouvel oxygène, il se dégage.

L'acide que l'on ajoute, rend l'eau meilleur conducteur, et la décomposition beaucoup plus vive: si on employait l'eau pure, la décomposition se ferait à peine, et les bulles de gaz ne seraient guère visibles.

Non-seulement la pile décompose l'eau, mais elle décompose encore un très grand nombre de substances, presque tous les acides, les oxides et les sels.

Dans la décomposition de l'acide sulfurique concentré, l'oxygène se porte au pôle positif, et le soufre se dépose au pôle négatif.

Lorsqu'on décompose un oxide, l'oxygène se porte toujours à l'extrémité positive de la pile, et le métal à l'extrémité négative.

Dans la décomposition des sels, l'acide se porte au pôle positif, et l'oxide au pôle négatif. Cette décomposition offre un phénomène qui est très remarquable, et que l'on désigne sous le nom de *phénomène du transport*. Que l'on prenne deux petites capsules, ou mieux deux petites cloches; qu'on les remplisse d'une dissolution de sulfate de soude, et qu'on établisse la communication de l'une à l'autre

par un filet d'amiante mouillé ; que l'on fasse arriver l'un des pôles de la pile dans chaque vase , et , après un certain temps , on trouvera le sel totalement décomposé ; l'acide sulfurique dans le vase communiquant au fil positif, et la soude dans le vase du fil négatif. On explique ce phénomène , en concevant que l'acide et la soude ont passé parmi les molécules d'eau qui se trouvaient dans le filet d'amiante.

Effets physiologiques de la pile.

Aussitôt que Volta eut inventé la pile , on essaya quelle pouvait être l'action du fluide galvanique sur les êtres vivants , et même sur ceux dont la mort était récente. Un grand nombre de recherches ont été faites à ce sujet par Aldini , professeur en l'université de Bologne , tant sur les animaux que sur les hommes.

Lorsqu'on fait passer le courant galvanique , dans une partie quelconque de la tête , séparée du tronc , d'un quadrupède nouvellement mort , d'un bœuf , par exemple , on voit aussitôt , dans cette tête , les yeux s'ouvrir , les oreilles se secouer , la langue s'agiter , les naseaux s'enfler comme , lorsqu'irrités , les animaux de cette espèce veulent se battre entre eux ou contre d'autres (1).

Les mêmes phénomènes se produisent sur des têtes de mouton , d'agneau , de cheval , etc. ; seulement les contractions ne diffèrent que par leur plus ou moins grande intensité.

(1) Jean Aldini , *Essai sur le Galvanisme* , t. I, pag. 100.

Le professeur Aldini a fait l'application du galvanisme aux corps de criminels suppliciés. Il a obtenu de fortes contractions ; la face produisait des grimaces horribles , et le corps des mouvements en quelque sorte effrayants. Des expériences faites à Londres , en 1803 , sur un supplicié , trois quarts d'heure après son exécution , donnaient quelque espoir de le rappeler à la vie , puisque déjà la respiration s'établissait , et que ses membres se mouvaient avec rapidité ; mais l'état de faiblesse dans lequel se trouvait le cadavre , occasioné par la perte d'une grande quantité de sang , ne permit pas ce succès.

Si on pose une main sur l'extrémité inférieure d'une pile en activité , et l'autre sur l'extrémité supérieure , on éprouve une vive secousse , qui se fait sentir dans la main , dans les bras , et même jusque dans la poitrine , si l'instrument est assez énergique. Cette commotion diffère de celle que donne la bouteille de Leyde , en ce que celle-ci est subite et non permanente , tandis que celle de la pile est vive et durable.

Le galvanisme a été employé , mais sans succès marqué , pour les maladies des yeux , de l'ouïe .

Le professeur Aldini a recherché si , dans l'asphyxie , le galvanisme ne pourrait pas être employé avec avantage , comme moyen de rétablir la respiration. Il a d'abord essayé ce procédé sur des chiens , des chats , etc. , qu'il asphyxiais en les tenant quelque temps sous l'eau. Il galvanisait ces animaux au sortir de ce liquide , et ce moyen suffisait pour les rappeler à la vie : d'après cela l'analogie nous porte à croire que l'emploi du galvanisme chez les individus asphyxiés peut être administré avec succès ; mais il est à souhaiter que l'on fasse quelques recherches sur ce sujet.

Le professeur Aldini a employé avec succès le galvanisme comme moyen curatif, chez les personnes attaquées de folie. Enfin le galvanisme peut encore, dit-on, procurer de bons effets si on l'applique à la paralysie, à la hernie scrotale, à l'aménorrhée, ainsi que dans les affections rhumatismales.

Électricité produite par la chaleur.

La tourmaline, la topaze, quelques hyacinthes et beaucoup d'autres substances minérales, deviennent électriques quand on élève leur température. La tourmaline, sur-tout, jouit de cette propriété à un très haut degré. Mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que plusieurs de ces substances se constituent dans des états électriques opposés. Ainsi, par exemple, si, après avoir chauffé une tourmaline, on la présente au pendule électrique isolé et électrisé, ce pendule est attiré par l'un des bouts de la tourmaline et repoussé par l'autre.

De plus, si, après avoir chauffé une tourmaline, on la casse en deux, chaque partie se trouve électrisée, et pourvue de deux pôles, comme la tourmaline entière. On explique ce fait en considérant chaque molécule de la tourmaline comme étant elle-même munie de deux pôles, et que la fracture ne s'opère qu'entre deux molécules; d'où il suit que chaque fragment a nécessairement deux pôles, comme la tourmaline entière.

Électricité produite par la pression.

M. le professeur Libes a le premier démontré le

développement de l'électricité par la pression. L'expérience de M. Libes consiste à presser un disque de cuivre, en le tenant par un manche isolant, sur un morceau de taffetas gommé. Le métal se trouve électrisé résineusement, et le taffetas vitreusement. Si, au lieu de comprimer le taffetas, on frotte le disque métallique sur sa surface, le métal acquiert l'électricité positive, et le taffetas l'électricité négative.

M. Haüy a fait voir que les cristaux deviennent électriques quand on exerce sur eux la compression. Ainsi, il suffit de presser, pendant quelques secondes, entre deux doigts, le corps qu'on veut éprouver, pour qu'en le retirant et le présentant à l'électroscope d'Haüy, l'aiguille soit attirée, et d'autant plus fortement que le corps est plus électrisé. Dans cette expérience, il faut que le corps soit isolé.

En isolant les corps, M. Haüy a pu comparer la durée de leur vertu électrique; il a trouvé qu'une topaze taillée du Brésil, agissait encore après 32 heures; le corindon hyalin, l'émeraude, la spinelle, etc., agissaient après 5 heures.

Dans le diamant et le cristal de roche, la vertu électrique était éteinte après 15 ou 20 minutes.

M. Haüy a observé que quelques corps conservaient l'électricité, qu'ils acquéraient ainsi sans qu'ils fussent isolés; d'autres qui ne la conservaient bien qu'après l'avoir été.

Une légère pression suffit pour électriser le spath d'Islande (chaux carbonatée). Cette électricité peut se conserver très long-temps. M. Haüy électrisa par la pression, une lame rhomboïdale de spath d'Islande, l'ayant préalablement isolée; il observa que la vertu électrique ne s'était éteinte qu'au bout de 11 jours; d'autres rhomboïdes ne conservèrent cette

propriété que 3 ou 4 jours, d'autres encore 10 ou 12 heures seulement (1).

M. Becquerel a démontré que, non-seulement les cristaux, mais que tous les corps sont capables de devenir électriques par la pression.

Électricité développée dans les combinaisons chimiques.

Le développement de l'électricité dans les combinaisons a été observé, pour la première fois, par Lavoisier et Laplace. Ces savants reconnurent qu'en faisant agir quelques kilogrammes d'acide sulfurique sur du fer en limaille, il se développait à l'instant une quantité d'électricité suffisante pour charger un condensateur.

Il résulte, d'après les expériences de Sir H. Davy, que, dans les combinaisons chimiques où le dégagement de chaleur est considérable, il y a toujours développement d'électricité.

Il résulte aussi, d'après les expériences de M. Becquerel, que la combinaison d'un oxide ou d'un acide avec un alcali développe de l'électricité.

Phénomènes thermo-électriques.

Parmi les découvertes les plus curieuses, nous devons signaler celle de M. Séebeck, qui découvrit que la chaleur peut développer de l'électricité dans les métaux mis en contact. Pour observer ce phénomène, on soude ensemble du bismuth et du cui-

(1) Voy. la note de M. Haüy, *Annales de Chimie et de Physique*, année 1817.

vre, ou bien encore du bismuth et de l'antimoine, en leur donnant la forme d'un parallélogramme, ou toute autre figure telle que les métaux donnent lieu à un cadre complet. Ensuite on chauffe l'une des soudures, et il se produit de l'électricité qui circule dans l'intérieur des métaux. Comme cette électricité est insensible aux électroscopes ordinaires, on a recours à l'aiguille aimantée, que l'on dispose à cet effet près des autres métaux et parallèlement à leur direction, et l'on observe que le courant se dirige du cuivre au bismuth, dans la partie non chauffée.

Poissons électriques.

Un des phénomènes les plus intéressants de la physiologie est celui que nous présente les poissons électriques. On en compte aujourd'hui sept à huit espèces.

La propriété qu'ils ont de produire de l'électricité paraît tenir, très probablement, à un organe cellulaire, disposé d'une manière analogue à celle des plaques d'une pile voltaïque. Les commotions que peuvent produire les torpilles et les gymnotes sont quelquefois considérables, et « l'on ne s'expose pas témérairement, dit M. de Humboldt, aux premières commotions d'un gymnote très grand et fortement irrité. Si, par hasard, on reçoit un coup avant que le poisson soit blessé ou fatigué, la douleur et l'engourdissement sont si violents, qu'il est impossible de prononcer sur la nature du sentiment que l'on éprouve. Je ne me souviens pas d'avoir reçu, par la décharge d'une grande bouteille de Leyde, une commotion plus effrayante que celle que j'ai ressentie en plaçant imprudemment les deux pieds sur un gymnote qu'on venait de retirer de

l'eau. Je fus affecté le reste du jour d'une vive douleur dans les genoux et presque dans toutes les jointures. »

D'après M. de Humboldt même, les chevaux sauvages qui s'enfoncent quelquefois dans les marais ou les ruisseaux contenant des gymnotes, succombent aux commotions qu'ils en éprouvent; et cependant MM. de Humboldt et Bompland n'ont pas aperçu la plus petite étincelle quand le poisson retiré de l'eau agissait comme au sein de ce liquide.

Ajoutons encore, comme particularité très remarquable, que M. de Humboldt n'a point observé d'électricité, même avec l'électromètre condensateur, et que M. Gay-Lussac a remarqué qu'une personne isolée touchant une torpille n'éprouve de commotion que quand le contact est immédiat, et pas du tout lorsque le poisson est touché, même avec un corps très conducteur, comme un métal.

On ne s'étonnera pas, d'après ce que nous avons dit sur l'application que l'on a faite, mais malheureusement d'une manière bien incertaine, de l'électricité à la guérison de la paralysie, que les gymnotes et les torpilles aient été employées contre cette maladie.

CHAPITRE XIII.

DU MAGNÉTISME.

Phénomènes généraux.

La plupart des morceaux de mine d'oxide de fer dans lesquels ce métal n'est pas au maximum d'oxidation, ont la propriété d'attirer le fer, l'acier, le cobalt, etc. Le minéral alors prend le nom d'*aimant*, en grec *μάγνης*, d'où est dérivée l'expression *magnétisme*, par laquelle on désigne les phénomènes produits par ce minéral.

Lorsqu'on roule un aimant dans de la limaille de fer, et qu'on l'en retire ensuite, on observe que les parcelles du métal se sont attachées, mais inégalement, sur les diverses parties de sa surface (Fig. 171). On nomme *pôle* chaque moitié de l'aimant où la limaille s'attache en plus grande abondance. Un aimant a toujours deux pôles, lesquels sont séparés par une *ligne moyenne*, c'est-à-dire par une zone qui partage l'aimant, et sur laquelle la limaille ne se fixe pas. La ligne moyenne est ordinairement située à égale distance des deux pôles.

L'action magnétique s'exerce à distance, à travers l'air, le verre, le bois et toutes les substances. Les aimants ne perdent point de leur propriété pour être touchés; il n'est pas nécessaire de les isoler.

La limaille de fer ou des fils de ce métal, mis

en contact avec un aimant, acquièrent et conservent la propriété magnétique, tant qu'ils touchent l'aimant, et reviennent à leur état primitif sitôt qu'ils en sont détachés. Les fils d'acier, au contraire, s'attachent moins facilement à l'aimant, mais ils conservent la vertu magnétique pendant un temps très long, et jouissent des mêmes propriétés qu'un aimant naturel. En effet, un fil ou un barreau d'acier aimanté attire le fer, l'acier, le cobalt, etc., se recouvre de limaille de fer, et celle-ci se dispose à sa surface de même que sur un aimant naturel; enfin, on y remarque deux pôles, séparés par une ligne moyenne. Un semblable fil ou barreau se nomme *aimant artificiel*.

Si l'on suspend librement et horizontalement un ou plusieurs aimants naturels ou artificiels, on observe qu'ils affectent tous la même direction. En Europe, cette direction est à peu près nord-nord-ouest et sud-sud-est. Celles de leurs extrémités qui se dirigent vers un même pôle du globe, possèdent toutes le même magnétisme; et si on les approche les unes des autres, on voit qu'elles se repoussent mutuellement, tandis que les extrémités qui ont reçu des magnétismes différents s'attirent.

Lorsqu'on présente l'un des pôles d'un aimant à une aiguille aimantée, libre dans le plan horizontal, elle est sollicitée à la fois par les deux pôles de l'aimant, mais elle n'obéit qu'à l'action du pôle le plus voisin, de telle sorte qu'elle tourne celui de ses pôles qui est attiré; et si, lorsqu'elle a pris une position d'équilibre, on l'en détourne, elle y revient après un certain nombre d'oscillations.

L'action de la terre sur l'aiguille aimantée est analogue à celle d'un aimant; car si, après avoir suspendu librement et dans le plan horizontal une aiguille aimantée, on l'écarte de sa position d'équi-

libre, elle y revient toujours par une suite d'oscillations. C'est en partant de ce fait, que l'on a nommé les deux magnétismes, afin de les distinguer l'un de l'autre : on a appelé *boréal* celui qui domine dans la partie boréale du globe, et *austral* celui qui domine dans l'hémisphère de ce nom. D'après cela, on voit qu'il faut considérer l'extrémité des aimants qui se dirige vers le nord, comme le pôle austral, et l'extrémité qui se tourne vers le sud, comme le pôle boréal.

Un barreau ou un fil d'acier aimanté, suspendu horizontalement, se dirige, et prend, comme nous savons, une direction déterminée : à Paris, cette direction est peu différente du méridien terrestre; l'angle qu'elle forme avec ce méridien est ce qu'on nomme la *déclinaison de l'aiguille aimantée*.

On nomme *méridien magnétique* le grand cercle de la sphère qui passe par la direction de l'aiguille dans un lieu quelconque.

L'*équateur magnétique* est le grand cercle de la sphère dont le plan est perpendiculaire à celui du méridien magnétique. L'équateur magnétique est incliné à peu près de 10 à 12° sur l'équateur terrestre.

Quand on suspend une aiguille aimantée par son centre de gravité, à l'aide d'un axe qui lui soit perpendiculaire et fixé au milieu de sa longueur, on voit qu'elle ne se place pas horizontalement; en Europe, c'est-à-dire dans l'hémisphère boréal, l'extrémité australe de l'aiguille s'incline au-dessous de l'horizon, tandis que, dans l'hémisphère austral, c'est l'extrémité boréale qui produit le même phénomène. Ainsi, à Paris, par exemple, l'extrémité australe de l'aiguille passe au-dessous de l'horizon, et l'extrémité boréale au-dessus. L'angle que fait l'aiguille avec l'horizon se nomme l'*inclinaison de l'aiguille aimantée*. Cette inclinaison n'est pas constante dans

un même lieu. Ainsi, à Paris, elle était de $69^{\circ}51'$ en 1798, et de $68^{\circ}35'$ en 1818; mais elle est bien plus variable encore en passant d'une latitude sous une autre; car si l'on porte une aiguille d'inclinaison vers l'équateur magnétique, on trouve qu'elle se tient horizontale dans ces lieux, et qu'elle s'incline de plus en plus dans un sens ou dans l'autre, en approchant de l'un ou de l'autre pôle du globe. *Voy.* cet appareil, Fig. 172. M. Gay-Lussac a observé qu'à une élévation de 7,000 mètres dans l'atmosphère, l'influence magnétique du globe n'était pas diminuée sur la boussole.

Le charbon n'est pas le seul corps qui, combiné avec le fer, lui donne la faculté de conserver le magnétisme: le phosphore, l'étain et l'arsenic lui donnent aussi cette propriété, mais à un moindre degré (M. Gay-Lussac).

Les aimants perdent leur magnétisme quand on les chauffe jusqu'au rouge-blanc, et ce qui est remarquable, c'est que, dans cet état, ils se comportent, à l'égard du magnétisme, comme le ferait un fragment de substance non magnétique.

Loi que suivent les attractions et les répulsions magnétiques.

C'est à l'aide de la balance de torsion que l'on peut déterminer cette loi; elle est, de même que celle des attractions et des répulsions électriques, en raison inverse du carré des distances (Coulomb).

Moyens de faire des aimants.

Le procédé le plus simple d'aimantation consiste à mettre en contact avec un aimant, pendant quelque temps, un fil ou un barreau d'acier auquel on

veut donner la propriété magnétique; mais ce procédé ne donne qu'une faible aimantation. On donne à l'acier une plus grande quantité de magnétisme, en faisant glisser sur sa surface et dans toute sa longueur le pôle d'un aimant très puissant. Ce procédé, connu sous le nom de *méthode de la simple touche*, n'est jamais employé pour aimanter de gros barreaux d'acier, mais il est d'un usage très fréquent lorsqu'il s'agit de développer du magnétisme dans des fils d'acier d'un petit diamètre et d'une petite longueur.

Méthode de la double touche.

Cette méthode, qui est de beaucoup préférable à la précédente, consiste à frotter un barreau d'acier avec deux aimants, en mettant les pôles de nom contraire au milieu du barreau que l'on veut aimanter, et inclinant chaque aimant sous un angle de 15° à 20° , comme le représente la fig. 173, puis les faisant glisser dans cette position, jusqu'à chaque extrémité du barreau, les reportant au milieu de celui-ci, les faisant glisser de nouveau, et ainsi de suite; de sorte que, après un certain nombre de frictions, le barreau se trouve fortement aimanté.

En opérant ainsi, on trouve que chaque extrémité du barreau possède le magnétisme de nom contraire à celui du pôle de l'aimant avec lequel il a été frotté. La méthode de la double touche paraît agir avec plus d'énergie quand on fait reposer chaque extrémité du barreau que l'on veut aimanter sur les pôles opposés de deux aimants puissants (Fig. 174), et que l'on frotte comme précédemment; seulement il faut que les pôles des aimants frottants soient de même nom que les pôles des aimants sur lesquels repose le barreau.

Pour se rendre compte du développement du magnétisme, on suppose que l'acier, le nickel, le cobalt, etc., renferment les deux fluides magnétiques, de même qu'un corps à l'état naturel possède les deux électricités, et qu'en frottant un barreau d'acier, de nickel ou de cobalt, etc., avec le pôle d'un aimant, le magnétisme de ce pôle sépare les deux fluides boréal et austral du barreau, et finit par les fixer dans chacune de ses moitiés.

Points conséquents.

On nomme ainsi un ou plusieurs points où se réunissent deux pôles opposés, dans un barreau que l'on aimante. Un aimant peut avoir deux, trois, etc., points conséquents. Un pareil barreau, suspendu horizontalement par un fil de soie tel qu'il sort du cocon, ne se dirige plus dans la direction de l'aiguille aimantée.

Armatures.

Les armatures sont des morceaux de fer doux que l'on applique sur les pôles des aimants, et dont le but est de conserver, et même d'accroître leur magnétisme. La fig. 175 représente une pierre d'aimant garnie de ses armatures.

On appelle *contact* un morceau *c* (Fig. 175) de fer doux, que l'on applique sur les pôles d'un aimant, et auquel est fixé un petit vase en cuivre, destiné à recevoir des poids. On met dans le vase la charge que l'aimant peut soutenir, et on laisse ce système adhérent à l'aimant. Après quelques jours, on trouve que l'on peut augmenter sa charge, et après plusieurs mois, le poids que peut soulever l'aimant est de beaucoup supérieur à celui qu'il sou-

levait primitivement. Mais un fait fort remarquable, c'est que, quand un aimant a le maximum de charge qu'il peut soulever, si on ajoute dans le vase de nouveaux poids pour détacher le contact, ou bien qu'on détache brusquement celui-ci d'une manière quelconque, on trouve que l'aimant ne peut plus soutenir la charge qu'il soulevait quelques secondes auparavant. Ce fait n'a pas encore d'explication.

La forme que l'on donne aux aimants artificiels peut être très variée ; on leur donne ordinairement celle d'un fer à cheval, d'un demi-cercle, etc. Les aimants naturels sont presque toujours des cubes ou des parallélépipèdes.

Les aimants naturels ne recouvrent que très difficilement leur vertu primitive, lorsque, par une cause quelconque, ils viennent à perdre leur magnétisme ; les aimants artificiels, au contraire, le reprennent très facilement.

Distribution du magnétisme.

On peut avoir une idée de la distribution du magnétisme dans un barreau régulièrement aimanté, en le roulant dans de la limaille de fer doux, ou bien en présentant ses différents points à une aiguille aimantée ; dans le premier cas, on observe que la limaille s'attache en plus grande quantité vers les deux extrémités de l'aimant qu'à son milieu ; dans le deuxième cas, l'aiguille est beaucoup moins agitée lorsqu'elle est en présence du centre du barreau que vers ses extrémités.

On peut encore se faire une idée de la distribution du magnétisme dans un barreau régulièrement aimanté, en essayant les poids que, dans ses divers points, il peut soutenir par sa simple attraction ; on trouve dans ce cas que les poids, pour un barreau

de trois ou quatre millimètres de diamètre, et de quatre ou cinq décimètres de longueur, vont en croissant depuis les extrémités jusqu'à la distance de huit ou dix millimètres; et que, passé ce point, ils diminuent, de telle sorte que, arrivés au-delà de six à huit centimètres, ils sont sensiblement nuls. Les poids que peut soutenir un barreau régulièrement aimanté, sont égaux vers chacune de ses extrémités.

Les méthodes que nous venons d'exposer n'étant pas susceptibles d'une grande exactitude, nous allons décrire le procédé suivant, que Coulomb a fait connaître. Il consiste à suspendre horizontalement, dans la balance magnétique, un fil d'acier aimanté, dirigé de telle sorte que, quand il correspond au zéro de la division, il se trouve placé dans le méridien magnétique. Dans le plan de ce méridien, et vis-à-vis le zéro de la division, on dispose verticalement une règle en bois, de deux ou trois millimètres d'épaisseur, de telle manière que le fil aimanté vienne s'y appliquer; de l'autre côté de cette même règle, et le long d'une rainure pratiquée dans son épaisseur, on fait descendre un fil d'acier semblable au premier, et dont le pôle inférieur est de même nom que celui auquel on le présente. Le fil horizontal qui représente l'aiguille de la balance électrique ordinaire, est repoussé par la force des deux magnétismes; mais en tordant le fil de suspension, à l'aide du micromètre, on surmonte la répulsion magnétique, et l'on ramène le fil tout près de la règle, et dans la même position qu'auparavant. On peut ne pas tenir compte de l'action magnétique du globe, parce que le fil horizontal est dans le plan du méridien magnétique; et que, d'un autre côté, les points du fil vertical qui sont à quelques millimètres au-dessus ou au-dessous du croisement, ne contribuent

pas à la répulsion, à cause de leur distance et de l'obliquité de leur action. On peut donc considérer que la torsion du fil de suspension représente l'intensité de la répulsion magnétique. Comme nous avons déjà dit que la force attractive ou répulsive n'est pas la même dans tous les points d'un barreau aimanté, il s'ensuit que, si l'on présente successivement tous les points du fil vertical à l'action du pôle répulsif de l'aimant horizontal, en faisant glisser le fil vertical le long de la règle, il faudra tordre d'un nombre de degrés différent le fil vertical, pour maintenir le fil horizontal près de la règle, et ces différentes torsions que l'on imprimera seront proportionnelles à l'intensité du fluide magnétique répandu sur la moitié de cet aimant vertical, et conséquemment sur tout le barreau, puisqu'il est aimanté d'une manière symétrique, à moins qu'il ne se trouve des points conséquents.

En modifiant le procédé que nous venons de décrire, Coulomb a donné un moyen d'évaluer l'intensité d'un barreau magnétique : cette nouvelle méthode consiste à placer le fil horizontal dans le méridien magnétique, comme précédemment, puis à l'écarter de cette position, et à compter, pendant un temps donné, le nombre d'oscillations qu'il produit, nombre qui dépend de l'action du globe. Les physiciens ont démontré que l'action du globe est proportionnelle au carré du nombre de ces oscillations. Coulomb fait ensuite osciller le fil horizontal en lui présentant le fil vertical qui augmente la rapidité des oscillations, et par conséquent leur nombre dans un temps donné ; en retranchant le premier nombre du second, on a l'évaluation de l'influence du fil vertical.

C'est en opérant de la sorte que Coulomb découvrit la position du *summum* de force magnétique,

qu'il nommait *centre d'action du barreau aimanté*. Il a trouvé que ce n'est pas aux extrémités du barreau que la force est la plus grande possible, mais à des distances plus ou moins grandes, suivant la longueur du barreau, et, par exemple, à 22 millimètres des extrémités, s'il a 0^m675. On voit donc que, si on représentait par des lignes perpendiculaires au barreau, l'intensité de son magnétisme, ces lignes donneraient lieu à une courbe qui serait insensible à partir du centre jusqu'à une petite distance du *summum* d'intensité, point auquel elles se trouveraient former une courbe très rapide, mais qui diminuerait très rapidement encore en dépassant ce point et en arrivant à l'extrémité du barreau.

Action magnétique du globe. — Déclinaison.

Nous avons parlé du méridien magnétique, sans faire observer que ce n'était pas exactement un cercle comme le méridien astronomique, mais plutôt une courbe dont les sinuosités sont tout-à-fait irrégulières, et même variables, au point que, en 1580, le méridien magnétique faisait à Paris un angle de 11° 30' à l'est, avec le méridien astronomique; qu'en 1653, les deux méridiens coïncidaient, et qu'enfin le méridien magnétique a passé à l'ouest, en faisant un angle qui a augmenté toujours jusqu'en 1818, époque où il était de 22° 26'', pour rétrograder et se rapprocher du méridien céleste.

On connaît la valeur de ces angles, en observant la boussole qui se trouve toujours placée dans le méridien magnétique. *Voyez* cet appareil, fig. 176.

Nous ajouterons que l'équateur magnétique n'est pas un cercle parfait qui coupe l'équateur terrestre, mais une courbe sinueuse qui se rapproche plus ou moins de cet équateur terrestre.

Variations diurnes.

En observant une aiguille aimantée pendant tout le cours d'une journée, on remarque qu'elle est soumise à des mouvements périodiques, qui sont d'orient en occident depuis le matin jusqu'à une heure après midi, et dans le sens inverse à partir de cet instant jusqu'au matin. Pour tous les lieux de la terre, et dans les différents mois de l'année, cette variation n'est pas la même; par exemple, à Paris, elle est de 9' dans le mois de décembre, et de 14' au mois de juin; ce sont-là les deux points extrêmes de sa variation.

Nous ne parlerons pas des circonstances qui influent instantanément sur l'aiguille, comme les aurores boréales, la foudre, etc., et autres météores. Néanmoins nous croyons devoir signaler ici un fait récemment découvert par l'illustre astronome et physicien français, M. Arago, fait qui, dans l'état actuel de la science, ne peut être expliqué, puisqu'il semble en contradiction avec les phénomènes connus jusqu'à ce jour. En effet, il porterait à croire que tous les corps ont une action sur l'aiguille aimantée, tandis que le fer, le nickel, le cobalt, et quelques-uns de leurs composés, sont les seuls corps susceptibles d'aimantation. M. Arago a vu que, en faisant osciller un barreau aimanté au-dessus d'un disque de substance quelconque, le nombre de ses oscillations est beaucoup moins grand que quand on a soustrait ce corps étranger. L'expérience peut se faire d'une manière plus concluante encore, en mettant le barreau à l'abri de tous les mouvements qui peuvent être produits dans l'air, et en imprimant au corps étranger un mouvement de rotation pen-

dant lequel l'influence se manifeste tellement, que le barreau acquiert lui-même un mouvement giratoire.

CHAPITRE X.

ÉLECTRO-DYNAMIQUE.

Cette nouvelle partie de la physique, qui portait d'abord le nom d'électro-magnétisme, a pris naissance à une époque toute récente ; ce n'est en effet qu'en 1819 que M. OErstedt, de l'académie de Copenhague, sa patrie, s'aperçut de l'action d'un courant d'électricité voltaïque sur la boussole. On établit un courant en faisant communiquer par un fil métallique les deux extrémités d'une pile en activité, et l'on éprouve son influence sur la boussole, en approchant celle-ci d'une portion quelconque de ce fil. Depuis cette époque, plusieurs physiciens habiles se sont occupés de recherches sur le même sujet ; mais c'est M. Ampère qui les poussa le plus loin, et montra que tous les phénomènes se réduisaient à deux faits généraux, qui sont l'action directrice, et l'action attractive ou répulsive.

Action directrice.

Si l'on réunit, comme nous venons de le dire, les deux extrémités d'une pile, et que l'on place

une aiguille aimantée tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de ce fil, elle sera déviée du méridien magnétique en différents sens, que l'on pourra prédire d'après la règle suivante. Si l'on suppose un homme placé dans l'intérieur du fil conducteur, de manière que le courant marche de ses pieds à sa tête, c'est-à-dire que ses pieds soient tournés vers le pôle positif (car nous supposons que le courant a lieu du pôle positif au pôle négatif; on pourrait tout aussi bien supposer le contraire, sans inconvénient), et nous supposons en outre que cet homme a la face tournée du côté de l'aiguille, celle-ci est toujours déviée de telle sorte que le pôle australe est porté à la gauche de cet homme par l'action du courant. La nouvelle position que prend la boussole serait perpendiculaire à celle du fil, si le magnétisme terrestre ne contrariait pas l'action, en sollicitant l'aiguille à revenir dans le plan de son méridien. Pour le prouver, il suffit de rendre la boussole indépendante de l'action terrestre, en fixant l'aiguille aimantée sur un axe auquel on donne la direction de l'aiguille d'inclinaison.

Action répulsive et attractive.

Quand on présente à l'aiguille aimantée le fil conducteur, de manière que leurs directions soient perpendiculaire entre elles, et que le pôle austral de l'aiguille soit à la gauche du courant, c'est-à-dire dans la position que doivent prendre le fil conducteur et l'aimant, en vertu de leur action mutuelle, ils s'attirent réciproquement. Pour que cette action ait lieu, il faut que la ligne droite perpendiculaire qui mesure la plus courte distance entre le fil et l'aiguille aimantée, tombe entre les deux pôles de celle-ci; car, comme M. Ampère l'a observé,

si la ligne tombait sur le pôle même, l'action serait nulle, et si elle tombait au-delà du pôle, il y aurait répulsion.

Action réciproque des courants électriques.

M. Ampère démontra bientôt après la découverte de M. OErstedt, *que deux courants électriques s'attirent quand ils se dirigent parallèlement dans le même sens, et se repoussent quand leurs directions parallèles sont opposées.* Il découvrit ensuite que *la même chose a lieu quel que soit l'angle des deux fils, droit, obtus ou aigu, en sorte qu'il y a toujours attraction quand les courants des deux fils vont tous deux en s'éloignant ou en s'approchant du sommet de l'angle formé par les deux fils, et répulsion dans le cas où l'un va en se rapprochant et l'autre en s'éloignant.*

Avant d'aller plus loin, nous allons faire connaître différents résultats de l'action des courants sur les corps aimantés, et de l'aimantation qu'ils peuvent produire.

Le meilleur moyen d'aimantation, consiste à placer une aiguille ou un barreau d'acier dans une hélice (Fig. 177), formée avec un fil de cuivre, et dans laquelle on fait passer un courant électrique. Quelques secondes suffisent pour donner à l'aiguille ou au barreau un magnétisme durable, et dont les pôles se renversent si, en répétant l'expérience sur la même aiguille, on change la direction du courant. Que si dans l'hélice qu'on emploie, le fil va de gauche à droite pendant un certain nombre de tours, et qu'ensuite il aille en sens inverse, c'est-à-dire de droite à gauche, pour reprendre ensuite sa première direction, chaque point du barreau placé dans l'hélice, correspond aux changements de di-

rection du fil qui la compose, reçoit un pôle que l'on appelle point conséquent.

Nous observerons d'abord que les métaux non susceptibles de magnétisme par les moyens ordinaires, agissent comme des corps aimantés quand on y fait passer des courants ; ainsi, un fil d'argent attire la limaille de fer ou d'acier, comme un aimant ordinaire ; nous rappellerons ensuite que M. Faraday a obtenu la rotation d'un aimant sur son axe, en faisant plonger dans du mercure ce barreau aimanté, à l'aide d'un contre-poids de platine, et en y faisant passer un courant d'électricité d'une pile, dont l'un des pôles communiquait avec le mercure dans lequel il plongeait, et dont l'autre pôle aboutissait à une petite cavité pratiquée à l'extrémité supérieure du barreau, et contenant du mercure pour transmettre le fluide, sans que l'appareil éprouvât de frottement pendant son mouvement.

On devine aisément qu'en changeant la direction du courant on change le sens de la rotation du barreau.

Action de la terre sur les courants voltaïques.

Après avoir vu que les courants dirigent l'aiguille aimantée, et que celle-ci est aussi dirigée par la terre, on devait arriver à ce fait curieux, que la terre agissait sur le courant électrique; et les conséquences auxquelles M. Ampère est arrivé, sont les suivantes :

1° Un courant vertical, mobile autour d'un axe vertical, est porté par l'action du globe à l'est de cet axe lorsqu'il descend dans le conducteur mobile, et à l'ouest du même axe quand il va en montant; le plan qui, dans la position d'équilibre, passe par ce courant et par l'axe, est, dans les deux cas,

perpendiculaire au méridien magnétique. De cette expérience, M. Ampère a été porté à admettre dans l'intérieur du globe, des courants électriques qui donnent à l'aiguille de la boussole la direction à peu près du nord au sud.

2° Un conducteur horizontal ne pouvant se mouvoir que parallèlement à lui-même, est toujours repoussé dans l'hémisphère boréal, par l'action terrestre, à gauche de l'observateur, qu'on suppose placé dans le courant, et dont la face est tournée vers le globe terrestre, quel que soit d'ailleurs l'azimut du courant. Ainsi, en supposant, avec M. Ampère, le courant dirigé de l'est à l'ouest, le conducteur se porte au midi, et comme dans ce cas il est attiré par le courant moyen, équivalent à tous les courants terrestres, et que ce courant va de l'est à l'ouest, il en résulte que celui-ci est situé au midi du lieu où se fait l'expérience.

3° Un conducteur horizontal mobile autour d'un axe vertical, passant par une de ses extrémités, tourne d'un mouvement continu qui s'effectue dans la direction, est, sud, ouest, nord, quand il va de la circonférence au centre, et en sens opposé quand il va du centre à la circonférence. Il résulte de cette expérience, suivant M. Ampère, que le courant moyen est situé au sud du lieu où l'on expérimente.

Quand, dans un conducteur circulaire (Fig. 178), mobile autour de son axe et presque fermé, on fait passer un courant électrique, on voit qu'il se dirige par l'action de la terre; et cette direction est telle, que la portion du conducteur où le courant est descendant se porte à l'est, et l'autre portion, c'est à dire celle où il est ascendant, se tourne à l'ouest. Le même phénomène se produit encore, quand, au lieu d'employer un simple fil conducteur, on emploie

une hélice (Fig. 179), dont l'axe horizontal puisse tourner autour d'une ligne verticale passant par son milieu. Si on emploie deux hélices, on verra que leurs extrémités de même nom, c'est-à-dire celles qui se dirigent vers le même point du globe, se repoussent mutuellement, et que celles qui se dirigent vers les points directement opposés, s'attirent, ou que l'extrémité qui se tourne vers le nord attire l'extrémité qui se tourne vers le sud, dans une autre hélice. L'action de deux courants entre eux est donc la même que celle de deux aimants et que celle d'un aimant sur une hélice.

De là il résulte que l'on doit prendre ses précautions pour soustraire les fils conducteurs à l'action du globe, comme nous l'indiquerons plus loin.

Multiplicateur.

L'invention de cet instrument est due à M. Schweiger de Halle. Il est fondé sur l'action qu'un courant fait éprouver à une aiguille aimantée. Si l'on donne à un fil conducteur, dans lequel circule un courant électrique, la forme abc (Fig. 180), et qu'on place une aiguille parallèlement aux fils, et dans l'intérieur de la courbure, l'action du courant sera augmentée; et si l'on fait faire plusieurs révolutions, comme dans la Fig. 181, au fil conducteur, l'action augmentera encore, et de plus en plus. C'est là tout le multiplicateur de Schweiger.

Nous allons cependant donner ici la description que M. OErstedt a faite de cet appareil. « AA est le pied de l'instrument; CC, CC sont deux montants qui portent un châssis BB, dans le bord duquel existe une rainure où se logent les tours successifs du fil multiplicateur, qui est ordinairement un fil de cuivre enveloppé de soie. DD est un montant destiné

à porter le fil auquel l'aimant est suspendu : toutes ces parties sont en bois. EE est un fil de métal qui passe à frottement par un trou pratiqué dans la partie supérieure du montant DD. A ce fil métallique s'attache par un peu de cire le fil de cocon EF : celui-ci porte à son extrémité inférieure un petit triangle double de papier sur lequel repose la petite aiguille aimantée. En G est un cylindre creux dans lequel passe librement un fil de suspension, et qui empêche le fil multiplicateur de le toucher. Au-dessous de l'aiguille est un cercle divisé, qui sert à évaluer la déviation.

Pour se servir de l'instrument, on établit la communication de manière à ce que le fil du multiplicateur livre passage au courant. Les actions les plus faibles, et que l'on ne pourrait pas découvrir à l'aide d'un autre appareil, deviennent très sensibles quand on emploie celui-ci.

Nous regrettons qu'il soit hors du plan de cet ouvrage de développer ici les ingénieuses applications que M. Becquerel a faites du multiplicateur. Nous renvoyons donc aux mémoires que ce physicien a publiés dans les *Annales de Chimie et de Physique*, et à son ouvrage dont deux volumes ont déjà paru.

Passons maintenant à la description des appareils électro-dynamiques, et à la manière de s'en servir.

Nous empruntons à M. Ampère la description suivante des appareils électro-dynamiques :

« Depuis les premières découvertes sur les propriétés de l'électricité en mouvement, dit ce physicien, on a beaucoup diversifié la forme des appareils destinés à la recherche ou à la démonstration de ces propriétés. D'abord, chaque observateur a inventé des instruments pour démontrer isolément les phénomènes qu'il découvrait; tels sont les appa-

reils avec lesquels M. Ampère a fait ses premières expériences, et ceux qu'il a imaginés depuis pour les différents cas où il se produit des mouvements de rotation continue, dès que M. Faraday eut fait connaître celui avec lequel il a obtenu le premier exemple de cette sorte de mouvement; tels sont les appareils flottants de MM. de la Rive et Van-der Heyden, la roue plongeante de M. Barlow, etc. Bientôt on s'est aperçu que le nombre de ces appareils spéciaux les rendait fort incommodes, sur-tout pour la démonstration; c'est pourquoi M. Ampère a cherché à construire des instruments avec lesquels on pût faire le plus grand nombre possible d'expériences, pensant que les procédés pratiques communs à plusieurs d'entre elles, en abrégeraient et en faciliteraient l'explication, sur-tout en disposant les faits d'après leur analogie.

« On trouve décrit, dans le *Manuel d'Électricité dynamique* de M. de Montferrant, deux de ces appareils qui, en raison des nombreuses combinaisons qu'ils présentent, peuvent également servir, soit à reproduire les phénomènes électro-dynamiques connus, soit à en découvrir de nouveaux. Ces instruments sont très commodes pour les savants, qui, libres de les considérer sous toutes leurs faces, acquièrent promptement l'habitude de les employer: néanmoins, dans les cours publics, ils sont difficiles à expliquer, parce que certains conducteurs sont cachés par la table, ou les uns par les autres. Dès-lors l'attention des auditeurs est détournée des pièces sur lesquelles opère le professeur, par les autres parties de l'appareil qui restent exposées à leurs regards.

« Pour réunir les avantages des deux espèces d'appareils spéciaux et généraux, il fallait d'abord rendre permanentes les parties de l'instrument des-

tinées à effectuer des opérations communes à toutes les expériences, et ensuite appliquer successivement l'action de ces parties communes à des appareils spéciaux, dont chacun se rattachât isolément à l'appareil général par un même procédé. Tel est le but que M. Ampère s'est proposé d'atteindre dans l'instrument dont on donne ici la description, et qui est aujourd'hui aussi nécessaire dans un cabinet de physique qu'une machine électrique ou une machine pneumatique, puisque ce n'est qu'en faisant, à l'aide de cet instrument, les expériences que nous allons décrire, qu'on peut acquérir une idée nette de l'action mutuelle des diverses portions du circuit voltaïque, action dont on a confondu les effets avec ceux qu'ont produit en faisant agir un fil conducteur sur un aimant, ou l'aimant sur le fil, que parce que c'est la découverte faite par M. OErsted de l'action qui s'exerce dans ce cas, qui a été l'occasion de celle de l'action mutuelle de deux fils conducteurs.

« Dans les expériences d'électricité dynamique, une portion du circuit voltaïque rendue mobile est soumise à l'action d'un conducteur fixe, d'un aimant ou de la terre. Pour que le circuit ne soit pas interrompu, cette partie mobile doit être réunie à la masse des conducteurs par des coupes pleines de mercure, métal dont on se sert également pour réunir entre elles les parties de l'appareil, que l'on ne peut pas lier et souder invariablement. Par la même raison, il est encore utile, chaque fois qu'on se sert de l'appareil, de gratter les coupes, les pointes et les couronnes de diverses espèces dont on se propose de faire usage; sans cette précaution il pourrait arriver que le courant fût intercepté, et dès lors toute action suspendue. Enfin, il est indispensable d'assurer la liberté des communications imprévues; il est également important d'éviter celles qui pourraient

accidentellement présenter au fluide une route autre que celle qu'il doit suivre ; c'est pourquoi il est bon que la table, *g h* (Fig. 182), qui porte l'appareil, soit revêtue d'un vernis isolant, et il faut éviter avec le plus grand soin, d'y répandre de l'eau acidulée, et sur-tout se débarrasser du mercure qui y tombe lorsqu'on le verse dans les cavités et dans les rigoles creusées dans cette table. A cet effet, une ouverture *P* pratiquée vers son milieu, et communiquant avec un tiroir *V*, est destinée à recevoir le métal surabondant que l'on y conduit en le balayant avec une plume.

« Quant aux suspensions, elles sont de trois espèces : 1° dans deux coupes situées sur une même verticale ; 2° dans deux coupes placées sur une même horizontale : ce mode de suspension doit se placer successivement dans tous les azimuts ; 3° dans une seule coupe, pour les expériences de rotation continue. Il est important, dans la pratique, que les deux rhéophores soient fixés à la table pendant le cours des expériences, qu'on puisse plonger à volonté chacun d'eux, soit dans la rigole *A*, soit dans la rigole *a*, et quand on cesse de se servir de l'instrument, les enlever, et les nettoyer ; or, c'est en quoi on réussit fort bien, en les maintenant dans ces rigoles avec une vis de pression *p*, attachée sur le bord de la table. Enfin, il est indispensable que le professeur puisse, par un mouvement prompt et facile, suspendre l'action électro-dynamique, ou en changer le sens, en renversant la marche du courant, soit dans les conducteurs fixes, soit dans les conducteurs mobiles. Cette dernière condition, qui offrait d'assez grandes difficultés à surmonter, s'obtient aisément au moyen de la disposition suivante.

« En supposant celui qui opère placé en avant de la table et tourné vers elle, il aura à sa droite les

rhéophores R, *r*, et devant lui, du même côté, deux bascules destinées à changer la direction du courant des conducteurs fixes et des conducteurs mobiles. Les bascules K, *k*, élevées d'environ un pouce au-dessus de la table, sont formées chacune par deux plaques de cuivre isolées par un morceau de bois verni ou d'ivoire. Sur les bords latéraux de ces plaques, on remarque huit appendices, dont quatre situés à droite plongent, lorsque l'on incline de ce côté la bascule la plus rapprochée de l'opérateur, dans les rigoles A, B, et dans les deux cavités C, et D; les quatre autres appendices, lorsque cette bascule est inclinée à gauche, plongent dans les mêmes rigoles A, B, et dans les cavités C', D'; mais en la maintenant dans une position horizontale, toute communication métallique est rompue entre A et B, et les cavités C, D, ou C', D'. Celles-ci communiquent deux à deux, c'est-à-dire C avec C', D avec D', au moyen de lames de cuivre placées en sautoir sur la table, revêtues de soie, et séparées l'une de l'autre par une pièce de bois verni. Les cavités G H répondent à des lames de cuivre qui aboutissent, l'une dans la cavité C, et l'autre dans la cavité D' : elles sont donc aussi en communication, la première avec C, et la seconde avec D. Une seconde bascule *k*, placée un peu plus loin de l'opérateur, et toujours à sa droite, sert, suivant le sens dans lequel on l'incline, à établir ou interrompre les communications entre les rigoles B et *a*, et les cavités *c* et *d*, ou *c'* *d'*. Celles-ci, réunies par couples, à l'aide d'un sautoir semblable au précédent, sont disposées de manière que *c* et *c'* communiquent avec la coupe S, dont on règle la hauteur au moyen de la vis *z*, placée au-dessous de la table, et en même temps avec la colonne E T, à l'aide du ressort I', placé sous la table. De leur

côté, d et d' communiquent d'abord avec deux rigoles semi-circulaires $M N$, $m n$, qui contiennent du mercure, dans lequel plongent les deux extrémités du fil t , u , v , d'un galvanomètre, et par suite avec la colonne $F U$, et avec la cavité O .

« Pour qu'on puisse voir plus facilement la disposition de ces coupes, de ces bascules, et de leurs communications, on les a représentées plus en grand (Fig. 183), en indiquant les mêmes parties de l'appareil par les mêmes lettres, dans cette figure, que dans la figure première.

« Les colonnes ET , FU , sont en cuivre, et servent indistinctement, suivant la position de la bascule k , l'une à transporter le courant dans les conducteurs mobiles, qui se suspendent dans les coupes x, y, x', y' , et l'autre à le ramener. A cet effet, la colonne ET communique avec la coupe X , et FU avec Y . Ces deux coupes sont isolées l'une de l'autre par un tube de verre revêtu d'une couche de laque. La première, X , communique avec les deux coupes x, x' , et la seconde, Y , avec y, y' . Chaque système de deux coupes, x, y , ou x', y' , fournit aux conducteurs mobiles une suspension verticale passant par le centre des coupes, et x avec y' ou x' avec y , une suspension horizontale qui peut se mettre dans tous les azimuts, en faisant tourner le bouton Z .

« Cela posé, voyons comment se font les expériences : 1^o pour les attractions et répulsions des courants angulaires, on place le rectangle redoublé $MNOP$ (Fig. 184) de manière que les quatre pointes L, L, L, L du plateau qui le soutiennent entrent dans les points de repère, indiqués sur la table par la même lettre L , et que les deux extrémités G, H plongent dans les coupes du même nom; puis on suspend dans les coupes x et y le conducteur mobile (Fig. 185), destiné aux actions angu-

lares. Alors, si R est le rhéophore positif, et que les deux bascules soient inclinées à droite, le courant passe de A à C, puis à C' et à G, parcourt le rectangle M N O P dans le sens M N, revient dans la cavité H, est transmis en D' D B c', monte dans la colonne E T, arrive dans les coupes X et x, parcourt le conducteur mobile, en suivant (Fig. 185) la direction $x, a, b, c, d, e, f, g, h, i, y$, redescend par la colonne U F, traverse le galvanomètre t, u, v , destiné à constater que le courant est réellement établi dans l'appareil comme il doit l'être, et se rend dans la cavité d', puis dans la rigole a, où on a plongé le rhéophore négatif. La portion du courant électrique qui parcourt d étant dirigée vers le sommet de l'angle, de même que celle qui parcourt le côté M N du conducteur fixe, il y aura attraction, et pour changer cette attraction en répulsion, il suffit d'incliner à gauche l'une ou l'autre des bascules K, k; la première renverse le courant du rectangle fixe, et la seconde celui du conducteur mobile, en sorte que si on les inclinait à la fois du même côté, l'attraction subsisterait.

« Cette remarque est importante, parce que c'est elle qui nous fournit un moyen pour ne pas confondre l'action de la terre avec celle qu'exercent les diverses parties de l'appareil. Les mouvements auxquels celles-ci donnent naissance ne changent pas, quand on renverse à la fois le courant dans les conducteurs fixes et mobiles, en faisant plonger dans la rigole a le rhéophore placé d'abord dans la rigole A, et dans cette dernière, celui qui plongeait auparavant dans la première; tandis que, dans les mêmes circonstances, l'action des courants du globe, dont la direction est constante, se manifeste en faisant changer le sens du mouvement des conducteurs mobiles (A).

« Le conducteur mobile (Fig. 185), et plusieurs dont il sera bientôt question , sont astatiques , c'est-à-dire qu'on les a disposés de manière à les soustraire à l'influence que la terre exerce sur eux. Pour cela , on force le courant à suivre alternativement des directions opposées , et telles que la somme des actions exercées par le globe soient nulles. Ainsi , dans le conducteur mobile (Fig. 185), le mouvement de l'électricité ayant lieu dans le sens $x, a, b, c, d, e, f, g, h, i, \gamma$, le courant est descendant dans la partie $c d$, et ascendant dans la partie g, h ; elles tendent donc , avec des forces égales , l'une à se diriger vers l'est , et l'autre vers l'ouest; de même aussi , dans les branches horizontales $d e$ et $h i$, l'influence est contrebalancée par l'action qu'il exerce sur les courants opposés $b c$ et $f g$. Quant aux portions ab et ef , comme elles se trouvent dans l'axe de rotation, il est inutile d'y avoir égard. Ce conducteur mobile, suspendu aux coupes x', γ' , répond au milieu de la partie $M N$ du rectangle (Fig. 184) : on a alors l'action dans deux angles de suite ; dans l'un elle est attractive , dans l'autre répulsive ; l'effet produit est le même que dans la disposition précédente , mais l'intensité en est doublée.

« Le conducteur mobile (Fig. 186) peut être alternativement placé dans les coupes x et γ , ou x' et γ' . Dans le premier cas , le courant venant toujours par les coupes X et x , suit la route $x, a, b, c, d, e, f, g, h, i, \gamma$; dès lors dans les fils $c d$ et $g h$, ce courant est encore dirigé vers le sommet de l'angle que ces deux fils forment avec le conducteur fixe ; c'est pourquoi si l'on place le conducteur mobile perpendiculairement au rectangle fixe , les deux portions $c d e h g$ seront toutes deux attirées , ou toutes deux repoussées , suivant le sens du courant du conducteur fixe. Dans le cas où il y a attraction ,

il en résulte un équilibre non stable ; car si l'un de ces fils est accidentellement un peu plus rapproché que l'autre du conducteur fixe , il en sera plus fortement attiré et se portera vers lui. Si l'on change, à l'aide des bascules , la direction du courant , soit dans l'un , soit dans l'autre conducteur, l'attraction sera changée en répulsion , et le conducteur mobile se placera perpendiculairement au conducteur fixe. Ici l'équilibre est stable.

« Lorsqu'on suspend le même conducteur dans les coupes x' , y' , le courant suit une direction opposée à la précédente , et parcourt le conducteur mobile dans la direction $y' i h g f e d c b a$; par conséquent dans les fils $e d$ et $g h$, il s'éloigne de la partie moyenne $d h$, en sorte que la répulsion d'une part , et l'attraction de l'autre , se font mutuellement équilibre ; l'appareil reste immobile.

« Le conducteur (Fig. 187) suspendu dans les coupes $x' y'$, livre passage au fluide dans le sens $x' a b c d e f g h i y'$; si donc il coupe à angle droit le conducteur fixe $M N$ (Fig. 184), il tendra à se mouvoir jusqu'à ce que la branche $d e$ soit parallèle à $M N$, et que dans l'un et l'autre conducteur le courant soit dirigé dans le même sens. Aussi verra-t-on celui qui est mobile faire une demi-révolution , si l'on vient à changer la direction de l'un de ces courants.

« L'appareil (Fig. 188) est destiné à faire voir que dans le conducteur (Fig. 187), les branches cd , ef , contribuent à l'effet produit , parce qu'il n'y a plus dans celui de la figure 7 que les branches désignées par ces mêmes lettres , qui soient soumises à l'action du conducteur fixe (Fig. 184), et que cependant le mouvement se produit encore , à la vérité , avec une force beaucoup moindre. Le même conducteur mobile (Fig. 188) sert en outre ,

ainsi que celui de la figure 13, pour les expériences relatives à l'action mutuelle des deux courants, dont les directions forment constamment un angle droit.

« Le conducteur (Fig. 189) sert à mettre en évidence l'action qu'exercent l'un sur l'autre deux courants parallèles horizontaux. On place ce conducteur dans les coupes x et y' ; le courant suit donc la direction $x a b y$: or, ab est parallèle à MN , et dans le même sens: il y aura donc attraction. Changez l'un ou l'autre courant, la répulsion succédera à l'attraction. Pour la même expérience, sur des courants parallèles verticaux, on se sert de l'appareil (Fig. 190), que l'on substitue au rectangle redoublé (Fig. 184). Les extrémités des fils G et H plongent dans les deux coupes $G H$. Alors, si le courant arrive par H , il monte dans mn , descend dans op , arrive dans la coupe G , se porte ensuite dans le conducteur mobile (Fig. 186), suspendu dans les coupes x, y . Le courant est descendant dans les branches b, c, f, g , ainsi que dans le fil op . Il y aura donc attraction. Dans cette disposition, comme dans les précédentes, on change la direction du courant fixe avec la bascule K , ou celle du courant mobile avec k , et dans l'un et l'autre cas on voit la répulsion remplacer l'attraction.

« L'égalité des actions attractives et répulsives que développent les courants horizontaux ou verticaux, qui se meuvent dans le même sens ou dans des directions opposées, est mise en évidence au moyen du conducteur mobile (Fig. 191), composé de deux fils garnis de soie, et qui servent, l'un à conduire et l'autre à ramener l'électricité; en sorte que si le courant est descendant dans l'un, il est ascendant dans l'autre; il devra donc rester en repos, soit que l'on oppose sa branche verticale cd au fil op du conducteur (Fig. 190), ou sa partie

horizontale $d e$, au rectangle redoublé (Fig. 184).

« Pour démontrer l'égalité d'action d'un conducteur rectiligne et d'un conducteur sinueux, on retourne le même appareil (Fig. 190), de manière que les extrémités G' et H' des fils conducteurs plongent dans les coupes de même nom. Les choses étant ainsi disposées, si le courant entre par H' , il remonte par $r u$, descend par le conducteur sinueux, remonte par $p o$, et redescend par $n m$, passe de la cavité G (Fig. 182) au conducteur mobile, et descend dans la branche $b c$ (Fig. 186), ainsi que dans les tiges $n m$, et $t v$ (Fig. 190), d'où résultera l'attraction de celles-ci pour $b c$. Ce fil resterait donc en repos, s'il restait également éloigné du conducteur sinueux $t v$, et du fil $n m$; mais comme il est à peu près impossible d'établir cette parfaite égalité de distance, on voit le fil mobile $b c$ se porter vers le conducteur fixe dont il est le plus voisin. Dans cette expérience, il vaut donc mieux avoir recours à la répulsion : ce que l'on fait en inclinant la bascule K à gauche; dès lors le courant devient ascendant dans le conducteur fixe, tandis qu'il continue à être descendant dans le fil mobile qui, par cela même, se place à égale distance de $v t$, et $m n$.

« On peut faire d'une autre manière la même expérience, en opérant avec le conducteur mobile (Fig. 192), précisément comme nous venons de dire qu'on opérerait avec celui de la figure 191, et en constatant que les mêmes conducteurs fixes n'exercent aussi aucune action sur lui, quoique des deux fils dont ils se composent, un seul soit rectiligne et l'autre sinueux.

« Le conducteur mobile (Fig. 193), formé de deux cercles parcourus en sens contraire, étant placé dans les deux coupes x, y , et soumis à l'in-

fluence qu'exerce le courant qui traverse le fil op (Fig. 190), sera attiré ou repoussé, suivant que le courant établi dans la portion du cercle qui est voisine de op , aura lieu dans le même sens ou en sens contraire : ainsi, l'électricité arrivant dans la coupe H, descend par op , parvient ensuite à x (Fig. 193), et parcourt les deux cercles dans la direction $xabcdefghy$. Il sera donc facile, en les plaçant convenablement, d'obtenir à volonté l'attraction ou la répulsion.

» Pour toutes les expériences de rotation continue, on place les trois pointes Oll du trépied (Fig. 194) dans la cavité, et les points de repère marqués des mêmes lettres sur la table ; alors on pose sur ce trépied le vase de cuivre (Fig. 195), dont le pied JI vient plonger dans la cavité I (Fig. 194) qui communique, par la lame de cuivre l, O , avec la cavité O (Fig. 182). Ce vase est ensuite rempli d'eau acidulée, dans laquelle plonge la partie inférieure de tous les conducteurs mobiles destinés à ce genre d'expériences. Le courant ne passe plus alors dans les deux colonnes ET, FU , qui ne lui présentent aucune issue, parce qu'on a eu la précaution d'ôter les conducteurs mobiles : ainsi, après avoir parcouru le conducteur fixe, il arrive dans la rigole B , passe dans la cavité c' , en supposant la bascule k inclinée à droite, se rend dans la coupe S , parcourt le conducteur mobile qui y est suspendu, traverse l'eau acidulée du vase, le vase lui-même, et se rend au rhéophore négatif par la lame Ood' . Dans l'appareil qui vient d'être décrit, le mouvement est produit par l'action d'une spirale placée sur le bord du trépied, de manière à entourer le vase ; on fait descendre, le long des deux autres pieds du trépied, les deux extrémités de la lame de cuivre qui forme la spirale, et on les fait plonger,

l'une dans G, et l'autre dans H. Quand le mouvement doit être produit par un courant rectiligne tangent au vase, on emploie le rectangle (Fig. 184): on peut alors substituer au trépied, armé d'une spirale, un autre support tout pareil, mais qui en soit dépourvu, ou bien continuer à se servir du premier, en ayant soin de relever les extrémités G et H (Fig. 195) de la spirale, de manière qu'elles ne plongent plus dans les cavités correspondantes G, H (Fig. 182): dans ce cas, ce sont les appendices G, H du rectangle redoublé (Fig. 184) qu'il faut y faire plonger, en retournant ce rectangle, et en plaçant les pointes L, L', L', L', dans les points de repère L', L', L', L', (Fig. 182).

» Les conducteurs mobiles (Fig. 196, 197, 198,) qui doivent alternativement être placés dans la coupe S, diffèrent en ce que le premier a deux branches verticales, dont l'une *cd*, est interrompue par une petite lame de bois *gd*, et dont l'autre, *ab*, fait communiquer la couronne *a, e, d, f*, avec la pointe *s*. Le second est privé des branches ascendantes, et la couronne *aedf* ne communique avec la suspension que par le fil horizontal *as*, une petite tige de bois verni *gd* interceptant la communication avec l'autre côté. Le troisième conducteur (Fig. 198), disposé comme le précédent, en diffère en ce que la couronne est interrompue en *a* par une pièce d'ivoire *e*, qui rompt la continuité des communications métalliques; il est même nécessaire, pour compléter la démonstration à laquelle sert cette dernière pièce, d'avoir un quatrième conducteur, dans lequel la pièce d'ivoire, au lieu d'être placée entre *a* et *f*, soit située de l'autre côté, c'est-à-dire entre *a* et *e*.

» Ces dispositions, particulières à chacun des conducteurs mobiles que nous venons de décrire, déterminent la direction du mouvement de rotation

qui se produit dans chaque cas, soit par l'action d'un conducteur rectiligne ou circulaire, soit par celle de la terre ou des courants qui traversent l'eau acidulée du vase (Fig. 194).

» En faisant agir sur les deux appareils (Fig. 196, 197) le courant spiral de la fig. 195, ils tournent tous deux d'un mouvement de rotation continue, dont la vitesse, d'abord accélérée, devient ensuite constante; mais en soumettant les deux conducteurs à l'action du courant du rectangle (Fig. 184), l'appareil (Fig. 197) tournera encore d'un mouvement de rotation continue, dont la vitesse ne devient jamais uniforme; mais éprouve des variations alternatives, suivant que le rayon as se trouve à chaque révolution, tantôt plus près, tantôt plus loin du rectangle. Quant à l'appareil de la figure 196, il ne tendra plus à tourner que par l'action de la terre, et celle du rectangle redoublé tendra à l'amener dans une situation fixe, où le plan $abcd$ (Fig. 96), sera toujours parallèle au plan de ce rectangle, de manière que la branche ab soit du côté d'où vient le courant établi dans MN , lorsque celui de ab est descendant, et du côté opposé quand ce dernier est ascendant. Dans l'appareil (Fig. 198), l'effet produit est dû à l'action qu'exercent sur le courant de la couronne fe a les courants qui s'établissent dans l'eau acidulée que contient le vase (Fig. 194). Enfin, en soumettant à la seule action de la terre l'appareil (Fig. 197), on le voit tourner avec une vitesse constante; mais il n'en est pas de même de l'appareil (Fig. 196), parce que, outre l'action que la terre exerce sur la branche bs , pour la faire tourner uniformément, elle agit aussi sur la branche verticale ab , pour l'amener dans une position fixe, à l'est quand ce courant est descendant, et à l'ouest quand il est ascendant.

» Il est essentiel de remarquer que, lorsqu'on veut laisser agir la terre ou les courants de l'eau acidulée, il faut faire communiquer les rigoles A, B (Fig. 182) par le conducteur Q, garni de deux appendices e, f , et mobile autour d'une charnière g attachée sur la table; alors le courant parcourt les conducteurs mobiles, soit en passant par les colonnes ET ou FU, soit en se rendant dans la coupe S, suivant que les conducteurs mobiles sont suspendus dans les coupes x, y, x', y' , ou dans la coupe S.

» Pour constater qu'un courant circulaire n'a aucune action sur un conducteur de forme quelconque, mobile autour d'un axe passant par le centre perpendiculaire au plan de ce courant, quand les deux extrémités du conducteur mobile se trouvent dans cet axe, on se sert du conducteur spiral (Fig. 195), dont les courants sont semblablement circulaires; on place le trépied qui le supporte comme dans les expériences sur le mouvement de rotation continue, après en avoir ôté le vase de cuivre (Fig. 194); le centre de ces courants se trouvant alors dans la verticale qui passe par ces deux coupes x', y' , si l'on suspend dans ces coupes l'un des conducteurs mobiles (Fig. 185, 186, 187), on remarque qu'il n'y a point d'action exercée par le conducteur spiral quand cette condition est exactement remplie; mais quoique l'on y parvienne difficilement, l'expérience n'en est pas moins concluante, parce qu'il ne se produit jamais de mouvement de rotation toujours dans le même sens, mais seulement une tendance du conducteur mobile à prendre une position fixe, qui varie considérablement par le moindre déplacement des coupes x' et y' , de manière à montrer que l'action serait en effet nulle, si les centres de ces coupes se trouvaient exactement dans la verticale menée par celui du conducteur spiral.

» Le cercle (Fig. 199) se place dans les couples x, γ ou x', γ' ; et comme il doit être soumis à l'action de la terre, le conducteur recourbé Q (Fig. 182) met alors en communication les rigoles A et B, en sorte que le courant ne peut s'établir que dans le conducteur mobile, dont la position, toujours perpendiculaire au méridien magnétique, est telle que la partie dans laquelle le courant est ascendant se dirige vers l'ouest, et celle où il est descendant vers l'est. Aussi peut-on, en changeant la direction du courant établi, lui faire faire une demi-révolution.

» Les mouvements du cercle (Fig. 199) sont, dans certaines positions, gênés par le mode de suspension que nous venons d'indiquer; mais on peut remédier à cet inconvénient en le remplaçant par le conducteur mobile (Fig. 200). L'anneau ab livre passage à la tige de métal qui supporte la coupe S, dans laquelle plonge la pointe sur laquelle doit tourner ce conducteur. La petite coupe d , qui est opposée à la pointe S, contient du mercure où plonge un fil de cuivre dc qu'on attache, à l'aide de la pince b , au support Yiy' de la coupe γ' (Fig. 182), qui communique avec la colonne FU, et dans laquelle on fait plonger l'extrémité c (Fig. 200) de ce fil, afin de compléter le circuit. On conçoit que le cercle, ainsi suspendu, peut librement tourner dans tous les sens; et en inclinant à propos la bascule k , il sera même facile de lui imprimer un mouvement de rotation continue.

» Le conducteur (Fig. 201), sur lequel la terre doit aussi exercer son action, se suspend de la même façon que le cercle (Fig. 200), et, ainsi que lui, exige que la communication Q soit établie entre A et B. L'action de la terre sur les deux branches ab et cd étant égale et de signe contraire, l'on observe uniquement l'effet produit sur la branche bc , qui

se porte à l'ouest ou à l'est, suivant que le courant y est ascendant ou descendant.

» On observe encore l'action de la terre sur la branche horizontale ab du conducteur (Fig. 189), parce que, dans les deux branches verticales, les courants sont opposés entre eux; mais il est essentiel d'observer que l'action ne se manifeste qu'à l'instant où l'on complète le circuit, et qu'il faut avoir soin de mettre ce conducteur dans un plan sensiblement vertical au moyen du contre-poids i . Dans cette expérience, la branche ab est toujours portée à gauche du courant avec la même force dans quelque azimut qu'on ait placé l'appareil, résultat conforme à ce que donne le calcul.

» Les figures 202 et 203 représentent des cylindres électro-dynamiques avec lesquels on peut imiter des aimants : le premier se fixe à la table (Fig. 182), au moyen de la pièce b , de manière que ses deux appendices GH (Fig. 202) plongent dans les cavités de même nom de la fig. 182; et le second (Fig. 203) est suspendu dans les coupes x, y ou x', y' : le courant s'établit donc dans celui de la fig. 202, comme il le ferait dans un autre conducteur fixe, et dans celui de la fig. 203, comme il s'établirait dans un autre conducteur mobile : or, en présentant l'une des extrémités du premier à l'une des extrémités du second, il y a attraction quand les extrémités en regard sont, l'une à droite, et l'autre à gauche des courants que parcourent les fils dont ces cylindres sont formés, et il y a au contraire répulsion lorsque les deux extrémités des mêmes cylindres, que l'on fait agir l'une sur l'autre, sont situées du même côté de leurs courants respectifs, le tout conformément aux résultats des calculs fondés sur la formule de M. Ampère, comme on peut le voir, soit dans son *Précis de la théorie des phénomènes*

électro-dynamiques, soit dans le mémoire de M. Savary, sur l'application du calcul aux mêmes phénomènes. En observant l'action de la terre sur le cylindre (Fig. 203), on voit que l'extrémité qui est à gauche de ces courants se dirige constamment au nord, parce que c'est dans cette situation du cylindre électro-dynamique, que les courants ascendants de ce cylindre sont du côté de l'ouest, et les courants descendants du côté de l'est.

» Lorsqu'on remplace, dans cette expérience, le cylindre (Fig. 202) par un barreau aimanté, on voit le cylindre (Fig. 203) se conduire à l'égard de l'aimant, précisément comme il le faisait à l'égard du premier cylindre, c'est-à-dire, précisément comme le ferait aussi une aiguille sur laquelle agirait un barreau aimanté.

» Si l'on remplace au contraire le cylindre (Fig. 203) par une aiguille aimantée, on verra que le cylindre (Fig. 202) agira sur cette aiguille, précisément comme il agissait sur le cylindre qu'elle remplace.

» Enfin, cette hélice ou cylindre électro-dynamique se conduit, à l'égard d'un fil conducteur, précisément comme M. OErsted a découvert que le faisait un aimant: pour s'en assurer, il faut placer le conducteur rectangulaire redoublé (Fig. 184) comme dans la première expérience destinée à constater son action sur un conducteur rectiligne, et suspendre immédiatement au-dessus du milieu de la portion MN de ce conducteur l'hélice (Fig. 203), en mettant ses pointes x, y dans les coupes y', x' (Fig. 182): quelque direction qu'ait l'hélice, on la verra, à l'instant où l'on établira les communications avec la pile, prendre une direction perpendiculaire à celle de la portion de courant MN (Fig. 184), de manière que l'extrémité de l'hélice, qui est à gauche de ses

courants, se porte du même côté de MN que le ferait le pôle austral d'un aimant dans l'expérience de M. OErsted.

» Il est important, dans toutes les expériences que nous venons de décrire, d'avoir soin d'interrompre le courant électrique dans les conducteurs mobiles, en donnant à la bascule k une situation horizontale, toutes les fois qu'on veut plonger les pointes de ces conducteurs dans les coupes x, y, x', y' , S, ou les en retirer : sans cette précaution, ces pointes pourraient être brûlées ou fondues par les étincelles qui éclateraient entre elles et le mercure des coupes, à l'instant où les pointes seraient près d'entrer dans le mercure ou à s'en séparer. Il est aussi nécessaire, avant d'employer cet instrument aux expériences auxquelles il est destiné, de s'assurer que le courant passe effectivement, et par le conducteur, fixe et par le conducteur mobile : on emploie pour cela une petite pile, ou même un simple couple voltaïque, quand on en a d'une grandeur suffisante pour cette recherche préliminaire; on dispose un conducteur fixe et un conducteur mobile, comme si l'on voulait faire une des expériences quelconques que nous venons de décrire; on s'assure d'abord que toutes les communications qui doivent avoir lieu, existent en effet, en voyant si l'aiguille aimantée du galvanomètre t, u, v , fig. 182, est déviée à l'instant où l'on plonge les rhéophores R, r dans les rigoles Aa; on enlève ensuite, tantôt le conducteur fixe seulement, tantôt le conducteur mobile, après avoir remis dans les points de repère le conducteur fixe. Il faut, pour que l'instrument puisse servir, que chaque fois qu'on enlève un de ces conducteurs, le courant soit interrompu, et que l'aiguille aimantée du galvanomètre revienne à la situation que tend à lui donner l'action de la terre.

» Comme il y a deux systèmes de conducteurs mobiles, il faut faire cet essai, d'abord avec un de ceux qui se suspendent dans deux des quatre coupes x, γ, x', γ' , ensuite avec un de ceux qui portent, d'une part, une pointe destinée à reposer sur le fond de la coupe S, et de l'autre une couronne qui plonge dans l'eau acidulée contenue dans le vase en cuivre de la Fig. 194. »

Ceux qui désireraient connaître dans de plus grands détails cette nouvelle branche de la physique, trouveront tous les renseignements qu'ils pourront désirer sur les faits dont elle se compose, dans le *Manuel d'électricité dynamique* de M. de Montferrand (Paris, Bachelier).

Note sur le passage de la description précédente, relatif au caractère qui distingue les mouvements produits par l'action de la terre, de ceux qui le sont par l'action mutuelle des diverses parties de l'appareil.

« (A) Pour mettre cette distinction dans tout son jour, on place le trépied (Fig. 195) comme nous l'avons expliqué, mais en relevant les extrémités GH du conducteur spiral, de manière qu'elles ne plongent pas dans la cavité de la table (Fig. 182), qui sont désignées par les mêmes lettres. La communication entre les rigoles AB étant établie par le conducteur Q, dont les appendices *ef* plongent alors dans ces rigoles, on suspend alternativement les deux conducteurs mobiles (Fig. 197 et 198) dans la coupe S, de manière que les couronnes de ces conducteurs soient plongées dans l'eau acidulée du vase (Fig. 194), et on constate, par l'expérience, que le sens de la rotation du conducteur mobile (Fig. 197), produite par l'action de la terre, change avec le sens

du courant, soit par l'inversion des rhéophores, soit par celle de la bascule, Fig. 182, tandis que la rotation du conducteur mobile (Fig. 198) a toujours lieu dans le même sens, quel que soit celui du courant, parce qu'elle résulte de l'action mutuelle des courants de la couronne *aedf* et de ceux de l'eau acidulée. On renverse alors le conducteur Q (Fig. 182), pour interrompre la communication qu'il établissait entre les rigoles A et B, et l'on fait plonger dans les cavités G et H les extrémités du conducteur spiral (Fig. 195) : aussitôt, l'action de ce dernier conducteur sur le rayon *ac* (Fig. 197 et 198) des conducteurs mobiles, imprime à ces conducteurs un mouvement de rotation beaucoup plus rapide, et qui change de sens par l'inversion de l'une des bascules K ou *k* (Fig. 182), mais qui n'en change point lorsqu'on renverse l'ordre de communication des rhéophores, en faisant plonger celui de la rigole A dans la rigole *a*, et celui de cette dernière dans la première, parce qu'alors la direction du courant se trouve changée à la fois dans les deux parties du circuit voltaïque, qui agissent l'une sur l'autre, savoir : le rayon *ac* (Fig. 197 et 198), et le conducteur spiral (Fig. 195).

N. B. C'est M. Ampère qui a donné aux deux fils conducteurs de la pile voltaïque employée dans les expériences électrodynamiques, le nom de *rhéophores*, qui signifie *porte-courant*.

CHAPITRE XV.

DE L'OPTIQUE.

Notions générales.

L'optique est cette branche de la physique qui traite de la lumière. On divise l'optique en deux parties : la *catoptrique*, qui a pour objet l'étude de la lumière réfléchie à la surface des corps ; la *dioptrique*, qui a pour objet l'étude des phénomènes que présente la lumière en traversant les corps transparents.

Deux systèmes sont possibles sur le mode d'action de la lumière, et ces deux systèmes ont tour-à-tour prévalu. Newton supposait que la lumière part des corps, et que les particules lumineuses sont lancées avec une vitesse inconcevable ; cette hypothèse, qu'on nomme le *système de l'émanation* ou de *l'émission*, a été reçue par un grand nombre de savants.

L'hypothèse de Descartes est le *système des ondulations*. On suppose, en l'admettant, qu'il existe dans l'espace qui sépare toutes les parties de matière qui composent le système du monde, une substance que l'on appelle *éther* ; cet éther n'est pas seulement répandu dans l'espace, il est encore dans les inter-

stices extrêmement petits que laissent entre eux les atomes qui composent la matière, de sorte que les corps sont, pour ainsi dire, plongés dans l'éther, comme l'est une éponge dans une masse de liquide, d'eau, par exemple. Dans ce cas, on sait par expérience que tous les intervalles que laissent les parties de l'éponge sont remplis d'eau, et que cette eau peut se mouvoir avec une grande facilité. Il en est de même de l'éther, et même il faut concevoir que ce fluide se meut, soit dans l'espace, soit dans la matière, avec une vitesse que nous pouvons toutefois concevoir, mais dont jusqu'ici aucun exemple ne s'est présenté à nous dans la nature. L'éther est une substance très élastique, impondérable et sans couleur.

On suppose que l'éther est constamment agité, et que c'est ce mouvement qui produit la lumière.

Le système de l'émission étant plus simple et plus facile à concevoir, et expliquant d'ailleurs un grand nombre de phénomènes relatifs à la lumière, se trouvera le plus fréquemment dans ce chapitre, quoiqu'au fond il ne soit pas vrai.

Vitesse de la lumière.

La vitesse de la lumière est très grande, mais sa propagation n'est pas instantanée. Roemer, savant danois, a démontré, le premier, en observant les éclipses des satellites de Jupiter, que la lumière qui part du soleil met 8' 13" pour arriver à la terre, d'où l'on voit que la lumière parcourt trente-deux millions de lieues dans un intervalle de temps qui est sensiblement nul, relativement à l'immense distance qui sépare la terre du soleil.

Propagation de la lumière.

Quand on fait entrer dans la chambre noire, par une ouverture très étroite, des rayons solaires, on voit que la direction qu'ils prennent est la ligne droite. On peut encore s'assurer de la propagation de la lumière en ligne droite, en plaçant un corps opaque entre un corps lumineux et l'œil : à l'instant le corps lumineux cesse d'être aperçu ; donc la lumière se propage en ligne droite.

Décroissement de l'intensité de la lumière.

L'intensité de la lumière décroît comme le carré de la distance. En effet, supposons un corps éclairé, c'est-à-dire présentant la base d'un cône lumineux, si l'on porte ce corps à une distance double de sa distance primitive au sommet du cône, la surface qu'occupera la base sera quadruple, et la lumière sera quatre fois moins intense, puisqu'elle éclairera une surface quatre fois plus grande.

De l'ombre.

Puisque la lumière se propage en ligne droite, il en résulte que, si un corps opaque se trouve dans la direction de quelques rayons lumineux, ce corps ne sera éclairé que d'un côté, et formera derrière lui une *ombre*, qui est d'autant plus obscure que la lumière est plus vive.

L'ombre d'un corps n'est presque jamais bien nette, c'est-à-dire qu'elle est environnée d'une autre ombre bien plus faible, qu'on a appelée *pénombre*.

§ I.

CATOPTRIQUE.

Réflexion de la lumière.

La catoptrique ou la réflexion a pour objet de déterminer la direction que suit la lumière lorsqu'elle tombe sur des surfaces polies.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur une surface, il se replie vers le milieu qu'il avait traversé. On appelle angle d'incidence l'angle formé par la première direction du rayon lumineux avec la surface de réflexion; et angle de réflexion celui qui est formé par la nouvelle direction du rayon avec la même surface. L'expérience montre que l'angle d'incidence est toujours égal à l'angle de réflexion, et que ces angles sont placés dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.

Miroir plan.

Si nous supposons un point lumineux S situé vis-à-vis d'un miroir métallique AB, il est évident que ce point lumineux envoie des rayons dans toutes les directions. Soit SR (Fig. 204) celui qui tombe sur le miroir AB, ce rayon est réfléchi suivant la direction RS', et cette direction fait, avec la perpendiculaire RP au miroir, un angle S'RP égal à SRP. On nomme SR, rayon incident; RS', rayon réfléchi; d'où l'on voit que l'angle formé par le rayon incident avec la perpendiculaire RP, est égal à l'angle formé par le rayon réfléchi avec cette même perpendiculaire, et qu'ainsi l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Position de l'image d'un corps derrière une surface plane réfléchissante.

Les rayons de lumière SA, SC, SD, partis d'un point lumineux S (Fig. 205), en tombant sur un miroir AB, sont renvoyés à l'œil, et font, en se réfléchissant, des angles de réflexion égaux aux angles d'incidence; les directions des rayons réfléchis prolongés, iront se couper sur la perpendiculaire pP, en un point S', et à la distance $pS' = pS$. Ainsi le point S est représenté en S' derrière le miroir, à une distance pS' égale à la distance pS .

Quand un miroir est incliné en avant de 45° , l'image d'un objet vertical est vue horizontalement derrière le miroir. L'inclinaison du miroir étant la même, l'image sera verticale, si l'objet est horizontal.

Les images des objets vus par réflexion, dans le miroir plan, ont exactement la même forme et la même grandeur que les objets eux-mêmes; seulement les images sont un peu moins brillantes: ce qui tient à ce que le miroir absorbe toujours une partie de la lumière.

On dit en général que les objets vus dans un miroir donnent des images renversées; ce qui n'est pas, car les images sont symétriques aux objets, et non renversées.

On peut, à l'aide de miroirs plans, multiplier les images: ainsi tout le monde peut observer que, dans une salle où deux glaces sont disposées parallèlement, on aperçoit une infinité d'images qui vont en s'affaiblissant. En disposant deux miroirs plans de manière qu'ils forment un angle plus ou moins aigu, on peut obtenir un grand nombre d'images;

c'est un effet de ce genre qu'on observe dans l'instrument appelé *kalidoscope*.

Miroirs courbes.

Quand des rayons lumineux tombent sur des miroirs courbes, il faut concevoir que la réflexion de chaque rayon se fait sur le plan tangent à la surface courbe, au point d'incidence. En opérant ainsi, on trouvera la marche de chaque rayon, en faisant les angles d'incidence et de réflexion égaux par rapport au plan tangent. Les surfaces courbes peuvent être infiniment variées; mais on n'emploie jamais que des miroirs sphériques ou paraboliques.

Miroir concave.

Supposons un miroir concave sphérique *mnb* (Fig. 206), le rayon *An* perpendiculaire à la surface *mnb* est l'axe du miroir.

Plaçons en *S* un point lumineux, et désignons par *Si* le rayon incident envoyé à la surface du miroir. Si du point *i* au centre de la sphère dont le miroir est supposé faire partie, on mène la normale *iC*, et qu'on fasse l'angle *CiB* égal à *CiS* de l'autre côté de la normale, *iB* sera la direction du rayon réfléchi.

L'image d'un objet n'étant que la réunion des différents rayons envoyés par cet objet, il est facile, quand on sait déterminer l'image donnée par un seul point, de trouver celle qui est produite par plusieurs rayons émanés d'un corps situé à une certaine étendue.

On appelle *foyer principal* le point *F* (Fig. 207),

où se fait la réunion des rayons parallèles, et *distance focale principale* l'intervalle AF.

Quand on présente un objet, une bougie allumée, par exemple, à une distance assez considérable d'un miroir concave, de manière que ces rayons puissent être considérés comme étant sensiblement parallèles, on observe que l'image de la bougie se forme à peu près au foyer principal du miroir, et qu'elle est renversée, ce dont on peut s'assurer en plaçant un petit écran au foyer. Si l'on rapproche l'objet du miroir, l'image se rapproche du centre de courbure; elle grandit en restant toujours renversée, et enfin elle coïncide avec l'objet quand celui-ci est au centre de courbure. En approchant toujours la bougie du miroir, l'image s'éloigne en restant renversée; mais lorsque la bougie a atteint le foyer principal, l'image est envoyée à une distance infinie du miroir, et est infiniment grande, de sorte qu'on ne peut plus la voir. Mais en continuant toujours d'approcher l'objet de la surface du miroir, l'image reparaît de l'autre côté, elle est droite et fort grande, elle se rapproche en se rapetissant, à mesure que l'objet se rapproche; et enfin, quand l'objet touche la surface du miroir, l'image est de même grandeur, et se forme sur la surface même du miroir. Dans ce cas, l'image n'est plus produite par la réunion des rayons lumineux, mais c'est le lieu idéal d'où les rayons réfléchis divergeraient, s'ils étaient prolongés au-delà du miroir.

Les miroirs paraboliques sont employés dans la construction de quelques phares, afin d'envoyer, à de grandes distances, la lumière qu'on place à leur foyer; car c'est une propriété de la parabole, que les rayons partis de son foyer se réfléchissent parallèlement à son axe.

Les miroirs hyperboliques sont employés quand

on veut éclairer une large surface, car ces miroirs réfléchissent, avec une grande divergence, les rayons qui partent de leur foyer.

Miroir convexe.

Les miroirs convexes ne produisent jamais d'images réelles, elles sont toujours idéales, et du côté du miroir opposé à l'objet.

Les miroirs convexes rendent toujours divergents les rayons qui tombent sur leur surface. Le point où iraient se réunir les rayons réfléchis, s'ils étaient prolongés à travers l'épaisseur du miroir, se nomme *foyer virtuel*.

Si on présente un objet à quelque distance d'un miroir convexe, l'image est droite et paraît au foyer principal, mais beaucoup plus petite que ne l'est l'objet. A mesure que la distance de l'objet au miroir devient moindre, l'image se rapproche de la surface réfléchissante, et grandit jusqu'à ce que l'objet touche le miroir, sur la surface duquel elle est de même grandeur et où elle semble se former.

Les usages des miroirs convexes sont très bornés. Quelques peintres s'en servent pour diminuer les dimensions des objets. Dans ce cas, ils doivent avoir peu de surface; autrement, on est obligé de corriger les portions qui se peignent loin de leur centre.

Détermination des foyers.

On détermine le foyer des miroirs de la manière suivante : s'ils sont concaves, on les présente à un objet lumineux très éloigné, au soleil, par exemple, et on reçoit l'image sur un verre dépoli ou sur une feuille de papier; le point où l'image sera la plus

vive sera le foyer , et en doublant cette distance , on aura le rayon de courbure.

S'ils sont convexes , on collera sur leur surface une feuille de papier noir , percée de deux trous circulaires situés à égale distance du centre de figure ; ensuite , on fera tomber sur le miroir des rayons solaires dont , après la réflexion , on mesurera l'écart à diverses distances du miroir , d'où on déduira leur point de concours, qui sera le *foyer principal*.

Combustion opérée par les miroirs.

Quand on reçoit sur un miroir concave des rayons solaires , ils se réfléchissent et concourent tous en un point qui est le foyer du miroir ; la chaleur qu'ils produisent par leur réunion est capable d'opérer la combustion d'un grand nombre de corps.

Le bois placé au point où se fait la concentration des rayons se charbonne et s'enflamme aussitôt ; les métaux se fondent et se volatilisent.

On peut remplacer les miroirs concaves par un nombre suffisant de miroirs plans , disposés de telle sorte que les différents faisceaux lumineux se réunissent en un même point.

C'est en se servant d'un système de miroirs composé de soixante-huit glaces étamées , que Buffon est parvenu à enflammer le bois à deux cents pieds de distance , et à fondre le cuivre et le plomb à quarante-cinq pieds.

D'après cela , on peut ne pas douter de ce que l'histoire rapporte d'Archimède , qui , à l'aide de miroirs ardents , mit le feu aux vaisseaux des Romains , pendant le siège de Syracuse.

§ II.

DIOPTRIQUE.

Réfraction de la lumière.

La dioptrique a pour objet la détermination de la route que suit la lumière en traversant les corps diaphanes.

Quand la lumière tombe sur des corps transparents, sous une certaine obliquité, elle pénètre dans leur intérieur, en se déviant de sa direction; ce phénomène de déviation s'appelle *la réfraction de la lumière*.

Loi de réfraction.

Quand un rayon lumineux tombe perpendiculairement à la surface d'un milieu transparent, il ne change pas de direction, et continue sa route en ligne droite; mais s'il passe obliquement d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense, il se rapproche de la perpendiculaire; il s'éloigne au contraire de cette perpendiculaire, s'il vient à passer d'un milieu plus dense, dans un milieu moins dense.

L'écartement ou le rapprochement du rayon incident de la perpendiculaire est proportionnel à la densité des milieux. La nature chimique du milieu influe sur la quantité de réfraction, en sorte que les corps combustibles sont ceux qui réfractent le plus la lumière.

Si l'on suppose que A C (Fig. 208) soit un corps transparent à faces parallèles, d'une densité plus

grande que celle de l'air environnant, le rayon incident S , arrivé au point I , se courbera en se rapprochant de la perpendiculaire PG ; arrivé au point I' , il passera d'un milieu plus dense dans un moins dense, et il s'écartera de la perpendiculaire, en suivant une direction parallèle à celle du rayon SI . On nomme angle d'incidence, l'angle SIP formé par le rayon SI , avec la perpendiculaire P élevée au point I , et angle de réfraction l'angle $I'IG$, formé par le rayon II' avec la perpendiculaire PI prolongée.

Lorsque le deuxième milieu est moins dense que le premier, l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence; que si, au contraire, le deuxième milieu est plus dense que le premier, l'angle de réfraction est plus petit que l'angle d'incidence.

En général, l'expérience a montré que, 1° le rayon incident, quelle que soit son obliquité, et le rayon réfracté, sont toujours situés dans un même plan perpendiculaire à la surface commune qui sépare les deux milieux; 2° le rapport du sinus de l'angle de réfraction au sinus de l'angle d'incidence, est constant sous toutes les incidences pour un même milieu (1).

Ainsi, quand la lumière passe de l'air dans l'eau, le sinus d'incidence est au sinus de réfraction, comme 4 est à 3; si elle passe de l'air dans le verre, il est de 3 à 2; du verre dans l'eau, de 9 à 8, etc.

La réfraction de la lumière nous donne l'expli-

(1) En géométrie, le sinus d'un arc est la perpendiculaire Pl , menée d'une des extrémités de cet arc sur le rayon BA , qui passe par son autre extrémité. (Fig. 209.)

cation de quelques phénomènes qu'on observe journellement. Ainsi, quand on place une pièce de monnaie au fond d'un vase dont les parois sont opaques, l'œil étant situé en O , ne peut voir la pièce qu'en se plaçant dans le cône des rayons rr' (Fig. 210); mais si l'on verse une certaine quantité d'eau dans le vase, la pièce devient visible et paraît beaucoup plus élevée qu'elle ne l'est en réalité. C'est qu'alors les rayons rp , $r'p'$ sont réfractés davantage en s'éloignant de la perpendiculaire, puisqu'ils passent d'un milieu plus dense dans un moins dense, qui est l'air. Alors l'œil placé en O voit la pièce en r dans la direction du rayon OI . On explique de la même manière pourquoi un bâton, en partie plongé dans l'eau, semble brisé à la surface de ce liquide.

Des effets analogues se manifestent dans les milieux dont les couches sont de densités différentes.

Concevons que AB (Fig. 211) soit un vase rectangulaire de verre très mince, dans lequel on verse d'abord de l'acide sulfurique concentré, et ensuite de l'eau; mais comme ces deux substances ont beaucoup d'affinité l'une pour l'autre, elles tendent à se combiner, et la combinaison s'opère en effet dans les couches de l'eau qui sont en contact avec l'acide sulfurique. On obtient alors un milieu composé de couches parallèles, de densités différentes, et par conséquent de réfractions diverses, décroissantes avec la hauteur. Si l'on colle une bande de papier en p , l'œil placé en o verra deux images; l'une directement, et l'autre un peu au-dessus et renversée. Pour comprendre cette expérience, il faut concevoir que la bande de papier envoie un rayon horizontal à travers l'acide sulfurique, et que ce rayon est reçu par l'œil placé en o , puisqu'un autre rayon parti du même point se dirige vers les

couches supérieures, composées d'acide sulfurique et d'eau, et traverse ces couches, dont la réfraction va en croissant; ce rayon monte jusqu'à ce que la puissance réfringente des couches supérieures le force à se courber, et à passer dans les couches qu'il a déjà traversées; si l'appareil est bien disposé, ce rayon arrivera au point *o*, d'où l'œil verra une deuxième image renversée dans le prolongement de ce rayon.

On observe un phénomène analogue dans les plaines de la Basse-Egypte: le sol, qui est en partie formé de sable, s'échauffe considérablement par la chaleur des rayons solaires, et donne lieu au phénomène connu sous le nom de *mirage*, que Monge a observé.

Le matin et le soir, on ne voit dans ces plaines que des arbres, et quelques villages dispersés çà et là, et qui n'offrent rien de surprenant; mais lorsque la surface du sol s'est échauffée par l'action des rayons solaires, le terrain paraît terminé à environ 4,000 mètres de distance, par une inondation générale, les villages qui se trouvent au-delà paraissent comme des îles au milieu d'un grand lac. Sous chaque village, on voit son image renversée, comme elle paraîtrait s'il y avait réellement autour de ces objets une nappe d'eau d'une grande étendue. A mesure qu'on s'approche, les limites de cette inondation apparente s'éloignent; enfin elle disparaît totalement, et l'illusion se reproduit pour un autre village plus éloigné. Cette illusion est souvent cruelle dans le désert, parce qu'elle présente vainement l'image de l'eau, dans le temps même où l'on en aurait le plus grand besoin. (*Monge.*)

Ce phénomène se produit aussi en mer, par un temps très calme, en sorte que les objets qui sont à l'horizon semblent brisés; les vaisseaux, les mâts,

les voiles, donnent des images renversées, et plus ou moins bien terminées. C'est de là que les marins ont appelé ce phénomène *mirage*.

On explique le phénomène du mirage en considérant que pendant le jour, le soleil échauffe le sol, que celui-ci échauffe à son tour la couche d'air qui repose à sa surface; cette couche d'air se dilate, devient spécifiquement plus légère que celles qui reposent sur elle; alors les rayons dirigés par les objets vers le sol sous une certaine incidence entrent dans la couche dilatée, s'y réfractent, et vont frapper l'œil de l'observateur, qui voit l'image renversée des objets situés à une grande distance, sur le prolongement des rayons réfractés.

Pouvoirs réfringents des différents corps.

Dans les substances solides, le pouvoir réfringent ou le rapport de réfraction s'obtient en construisant un prisme droit, triangulaire, avec le corps transparent que l'on veut observer; puis en faisant traverser ce prisme par un rayon lumineux sous diverses incidences. On observe que le rapport des sinus d'incidence et de réfraction est constant pour un même corps, mais qu'il est variable pour chaque substance.

Pour déterminer le rapport de réfraction dans les liquides, on renferme ces corps dans un vase prismatique, dont les parois sont formées de glaces planes et bien parallèles.

On observe de la même manière la réfraction des gaz; mais comme ils sont moins denses que les liquides, il faut donner au prisme un angle très grand. On doit tenir compte de la température du gaz, de sa pression, et en outre le dessécher préalablement.

Pouvoirs réfringents.

NATURE des SUBSTANCES RÉFRINGENTES.	Rapport du sinus d'incidence au sinus de réfract. pour la lumière jaune.		Densité de la substance ré- fringente.	Pouvoir réfrin- gent.
	n.	n.	d.	n' — 1 d.
Baryte sulfatée.	23 à	44	4,27	3979
Air.	3201 à	3200	0,0012	5208
Verre d'antimoine.	17 à	9	5,28	4864
Chaux sulfatée.	61 à	41	2,252	5386
Verre commun.	31 à	20	2,58	5436
Cristal de roche.	25 à	16	2,65	5450
Spath d'Islande.	5 à	3	2,72	6536
Sel gemme.	17 à	11	2,143	6477
Alun.	35 à	24	1,714	6570
Borax.	22 à	15	1,714	6716
Nitre.	32 à	21	1,9	7079
Fer sulfaté.	303 à	200	1,715	7551
Acide sulfurique.	10 à	7	1,7	6124
Eau de pluie.	529 à	396	1,00	7845
Gomme arabique.	31 à	21	1,375	8574
Esprit-de-vin bien rectifié. .	100 à	73	0,866	10421
Camphre.	30 à	2	0,996	12551
Huile d'olive.	22 à	15	0,913	12607
Huile de lin.	40 à	27	0,932	12349
Essence de térébenthine. . .	25 à	17	0,874	13222
Ambre.	14 à	9	10,4	13654
Diamant.	100 à	41	3,4	14556

* Tous les nombres contenus dans cette dernière colonne ont été multipliés par 10,000, afin de ne point avoir de décimales.

On voit, d'après ce tableau, que des substances de densités différentes peuvent avoir des forces réfringentes égales, et qu'en général les substances inflammables ont un pouvoir réfringent plus considérable.

D'après MM. Biot et Arago, le pouvoir réfringent d'un corps composé est sensiblement égal aux

pouvoirs réfringents des corps composants ; mais ce résultat n'est pas général.

Lentilles.

Quand la lumière traverse des milieux réfringents terminés par des surfaces courbes , la direction que prennent les rayons lumineux , après leur réfraction , dépend de la nature et de la forme de la surface courbe. On n'emploie jamais que des verres sphériques , parce qu'ils sont les seuls qu'on puisse exécuter avec exactitude. Ces verres se nomment *verres convexes* , *verres concaves* , ou simplement *lentilles* , qu'on distingue en six espèces différentes , savoir :

1° Verre doublement convexe , ou biconvexe (Fig. 212) ;

2° Plan convexe (Fig. 213) ;

3° Concave convexe , à bords minces (Fig. 214) ;

4° Concave convexe (Fig. 215). Cette lentille est plus mince au centre que sur le bord ;

5° Plan concave (Fig. 216) ;

6° Doublement concave ou biconcave (Fig. 217).

On peut considérer chaque lentille sphérique comme un prisme dont l'ouverture varie avec la lentille , et dont l'angle réfringent est nul sur l'axe A, A , de chacune d'elles , mais que cet angle va en augmentant jusqu'à ses bords. On divise , d'après cela , les lentilles en deux classes : la première comprend celles dont la base du prisme est tournée vers l'axe de la lentille , et la deuxième celles dont la pointe du prisme est tournée vers l'axe ; ainsi les lentilles doublement convexes ou biconvexes , plan convexe , et concave convexe à bords minces , forment la première classe ; les trois autres , concave

convexe à larges bords, plan concave, et doublement concave ou biconcave, forment la seconde.

Suivons maintenant les rayons lumineux dans leur passage à travers une lentille, et d'abord considérons la lentille biconvexe.

Supposons que BL (Fig. 218) représente la lentille biconvexe; parmi les rayons qui tombent sur cette lentille parallèlement à son axe, il en est un qui coïncide avec lui; celui-là traverse la lentille aux points où les deux faces sont parallèles, sans éprouver de déviation; mais les autres rayons incidents sont réfractés, et vont se réunir en un point F, situé sur l'axe de la lentille. Plus les rayons incidents sont écartés de l'axe, plus leur réfraction est considérable; ils se coupent successivement aux points F_1 , F_2 , et ces intersections, très voisines les unes des autres, forment à partir du point F, qui est la réunion des rayons partis très près de l'axe, deux courbes qui se prolongent jusqu'en F_1 , F_2 , qu'on nomme *caustiques*. L'expérience montre que quand les surfaces des lentilles ne sont qu'une petite portion des sphères sur lesquelles elles ont été prises, les caustiques n'existent pas, et la réunion de tous les rayons se fait sensiblement au point F, qui est le *foyer principal* de la lentille.

Les lentilles de la première classe ont toutes la propriété de concentrer la lumière à leur foyer, quelle que soit la face que l'on présente aux rayons incidents. On les nomme alors *lentilles convergentes*.

Si l'on considère la lentille biconcave (Fig. 219), et que l'on suive la marche des rayons qui tombent parallèlement à son axe, sur l'une de ses faces, on trouve que les rayons lumineux divergent au sortir de la lentille, et qu'ainsi il n'y a pas de foyer; mais si on prolonge à travers la lentille les rayons réfrac-

tés, ils iront couper l'axe en un point F, situé du même côté que les rayons incidents. On nomme ce point *foyer virtuel*, afin de le distinguer du foyer réel, donné par les lentilles convergentes.

Ainsi les lentilles de la deuxième classe ont la propriété de disperser la lumière. Elles sont appelées par cette raison *lentilles divergentes*.

Dans quelques instruments d'optique, on est souvent obligé de couvrir les bords des lentilles avec des anneaux circulaires opaques, que l'on nomme *diaphragmes*. Par ce moyen, il n'y a que les rayons qui tombent très près de l'axe qui puissent se réfracter, et donner des images nettes. *L'ouverture du verre* est la portion de la lentille qui n'est pas recouverte par le diaphragme.

Détermination des foyers.

Il est très facile de déterminer le foyer d'une lentille convergente, car il suffit de faire tomber les rayons solaires sur une semblable lentille, et de recevoir l'image sur une feuille de papier, ou sur un carton; le point où cette image aura le plus d'éclat sera le foyer, et la distance entre le foyer et la lentille donnera la distance focale principale.

Il n'est pas aussi facile de déterminer le *foyer virtuel* d'une lentille divergente. Cependant on peut y parvenir en collant une feuille d'étain sur la place opposée à celle qui, dans une de ces lentilles, reçoit les rayons solaires. Cette feuille est percée de deux petites ouvertures circulaires CC', diamétralement opposées, et à égale distance de l'axe de la lentille. On fait tomber la lumière solaire sur la face non recouverte de la lentille, et on reçoit sur un carton les deux rayons de lumière réfractés ER', jusqu'à ce que leur écartement soit double de celui des deux

trous (Fig. 220) , c'est-à-dire de CC' , on mesure la distance oa , qui est égale à oF' , et on a la distance focale principale.

Puisque les lentilles divergentes ne forment pas de foyer réel , il semblerait qu'elles ne doivent pas être employées, mais c'est qu'elles diminuent la convergence des rayons qui arrivent à l'œil : car on sait que si l'on regarde un objet à travers une lentille concave , on voit cet objet plus petit , puisque la lentille diminue la convergence des rayons qui pénètrent dans l'œil.

Combustion opérée par les lentilles convergentes.

Si on présente une lentille convergente à la lumière du soleil , de manière que son axe coïncide avec la direction des rayons , ces rayons , après s'être réfractés en traversant la lentille , vont se réunir en un point situé sur l'axe que l'on nomme le *foyer de la lentille*. Si l'on expose diverses substances au foyer de cette lentille , telles que du bois , du plomb , du cuivre , etc. , en un instant le bois est enflammé , le plomb , le cuivre sont fondus. On donne à la lentille , dans ce cas , le nom de *verre ardent*.

Tschirnausen et Hartzoecker ont construit des *verres ardents* qui avaient jusqu'à quatre pieds de diamètre. Mais ces verres sont défectueux ; car nous savons que les rayons lumineux qui se réfractent près des bords d'une lentille ne se réunissent pas au même point que les rayons qui ont traversé la lentille très près de son axe.

Buffon est le premier qui se soit occupé de la construction de lentilles à échelons , pour augmenter la puissance des verres ardents ; mais il les faisait d'un seul morceau , ce qui rendait leur construction très difficile.

Dans les derniers temps, M. Fresnel est parvenu à construire de ces lentilles, mais composées de plusieurs morceaux. Elles jouissent, comme les lentilles ordinaires, de la propriété de rendre parallèles les rayons émanés d'un point lumineux placé à leur foyer, ce qui les rend très propres à la construction des phares; mais elles l'emportent sur ces dernières, en ce qu'elles réunissent sensiblement en un seul point tous les rayons lumineux parallèles qui tombent sur leur surface.

Lorsqu'on expose une semblable lentille aux rayons solaires, la chaleur qui se produit à son foyer est excessive; elle fond à l'instant, le cuivre, le fer, etc.

Images données par les lentilles convergentes.

Soit mn (Fig. 221) une lentille convergente, et ss' un objet placé au-delà du foyer des rayons parallèles. Des deux extrémités de l'objet partent deux cônes de rayons tellement disposés, qu'après avoir traversé la lentille, ils se réfractent, et vont former leurs foyers derrière elle, par exemple en ff ; alors on conçoit que les rayons émergents partis des points intermédiaires entre ss' formeront pareillement leurs foyers en ff' ; il en résultera une image renversée de l'objet, qui deviendra visible si on la reçoit sur un disque de verre dépoli placé en ff' . L'œil pourra même apercevoir l'image, s'il est convenablement placé, en o par exemple.

Quand l'objet dont on reçoit l'image est très loin de la lentille, l'image se peint de l'autre côté et est sensiblement au foyer principal du verre convergent; mais à mesure que l'objet s'approche de la lentille, l'image grandit en même temps qu'elle s'éloigne. Quand l'objet n'est plus qu'à une distance

double de la distance focale principale, l'image se peint de l'autre côté à la même distance, et à la même grandeur que l'objet lui-même, mais elle est toujours renversée. L'objet continuant de se rapprocher, l'image grandit en s'éloignant; et quand il arrive au foyer principal, elle est à l'infini. Enfin l'objet continuant toujours de se rapprocher, il arrive entre le foyer principal et la lentille; alors l'image passe du même côté que l'objet; elle est plus éloignée que lui, et par conséquent plus grande; elle est droite, comme on l'observe journellement dans la *loupe* ou *microscope simple*. Quand l'objet touche la surface de la lentille, l'image la touche aussi, car l'objet et son image coïncident dans tous les points.

Concevons un objet SS' d'une certaine étendue, et placé en deçà du foyer des rayons parallèles d'une lentille mn (Fig. 222). Les faisceaux des rayons envoyés par les extrémités SS' de l'objet, après s'être réfractés en traversant la lentille, s'en iront passer par l'œil situé en o ; mais si l'on prolonge tous les rayons intermédiaires entre ss' , sur la lentille, on conçoit que les intersections de tous ces rayons ne coïncideront pas en un même point, mais qu'ils formeront leurs foyers entre les cônes des rayons partis de SS' , et iront former sur la rétine l'image de l'objet SS . En sorte que l'œil placé en o verra l'image en ss' sur le prolongement des rayons or, or' , beaucoup plus grande que l'objet.

D'après les dimensions de l'image, on croit qu'elle est beaucoup plus près de la lentille que l'objet lui-même, et le jugement qu'on porte alors est faux; pour s'en convaincre, il suffit de regarder un fil de métal très fin à travers une lentille, en ayant soin toutefois que ce fil dépasse le verre; si on compare alors la partie du fil que l'on voit par réfraction

à travers la lentille, à celle qui est vue directement, on trouve que la distance est plus grande dans le premier cas que dans le second.

Moyen de corriger les vues trop longues.

Quelques personnes, et les vieillards principalement, ne voient nettement les objets qu'à une distance très grande, tandis que ceux qui sont plus près leur semblent confus; c'est qu'alors le cristallin de l'œil n'est pas assez convexe, et qu'il n'y a que les rayons partis des objets très éloignés qui forment leur foyer sur la rétine, tandis que les rayons envoyés par des objets plus voisins convergent derrière elle; ce qui fait que ces personnes ne voient ces derniers que confusément. On donne le nom de *presbytes* aux personnes chez lesquelles la vue est ainsi altérée.

On remédie à ce défaut en plaçant devant l'œil et très près, un verre convexe, dont l'effet est de faire converger les rayons qui arrivent à l'œil, afin qu'ils forment leur foyer sur la rétine.

Images données par les lentilles divergentes.

Dans les lentilles divergentes, l'image se peint toujours du même côté que l'objet, et n'est jamais renversée, mais elle est toujours plus petite, et semble plus éloignée que lui. Ainsi, soit mn (Fig. 223) une lentille plan-concave, et S un point lumineux; le rayon Sr envoyé par le point S divergera après avoir traversé la lentille, de manière que si l'œil se trouve placé en O , il verra le point S sur la direction du rayon OS' . De même, si l'on considère un objet d'une certaine étendue SS' (Fig. 224), l'œil placé en O voit l'objet en ss' , mais très petit.

Les lentilles divergentes diminuent considérablement la clarté des objets ; ce qui est très facile à comprendre , car les rayons de lumière se dilatant par l'effet de la réfraction , il en résulte qu'il en entre moins dans l'œil que si les rayons eussent conservé l'écartement qu'ils avaient en partant de l'objet.

Les objets vus par réfraction à travers une lentille divergente nous paraissent très éloignés , c'est , comme on voit , le contraire de ce qui a lieu pour les lentilles convergentes ; mais si l'on fait l'expérience en mettant un fil derrière le verre concave , comme nous avons fait pour les lentilles convexes , on reconnaît bientôt que l'image est plus près de la lentille que l'objet.

Moyen de corriger les vues trop courtes.

On appelle *myopes* les personnes qui ont la vue très courte : défaut qui est causé par la trop grande convexité de la cornée et du cristallin. Car les rayons envoyés sur l'œil par les objets extérieurs se réfractent et convergent en deçà de la rétine. Ce qui exige que les objets , pour être vus soient situés , très près de l'œil , afin que l'angle formé par les rayons incidents soit très grand , et que ces rayons puissent , après leur réfraction , converger sur la rétine.

On remédie à ce défaut en augmentant la divergence des rayons qui arrivent à l'œil , ce qui se fait quand on met devant celui-ci un verre divergent plus ou moins concave.

Les lunettes ordinaires ont l'inconvénient de ne montrer nettement les objets qu'on regarde , que dans un très petit espace autour du centre du verre. Cela tient à ce que les rayons qui partent des points éloignés n'arrivent à l'œil que par les bords du verre

sous une grande obliquité, d'où il résulte que les images se forment en avant de la rétine, et sont tout-à-fait confuses.

Le docteur Wollaston a imaginé de remplacer ces *lunettes* ou *bésicles* par d'autres, qu'il appelle *lunettes periscopiques*. La forme qu'il donne aux verres est la suivante : concave du côté de l'œil, et convexe du côté de l'objet. D'après cette disposition, les rayons qui arrivent à l'œil par les bords du verre sont moins inclinés à la surface réfringente que dans les lunettes ordinaires, et la réfraction est moins grande. Ainsi, les objets que l'on peut voir par les bords de ces verres sont moins confus que s'ils étaient vus par un verre ordinaire, et permettent en même temps de voir nettement un plus grand nombre d'objets.

§ III.

DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE.

Jusqu'ici nous avons considéré la marche des rayons lumineux à travers des milieux réfringents, et nous avons regardé ces rayons comme étant simples, sans avoir égard à la *dispersion* qu'ils éprouvent en traversant ces corps. L'expérience montre que les rayons de lumière blanche sont formés d'un assemblage de molécules simples de diverses couleurs. Déjà Grimaldi avait observé que quand un rayon solaire traversait un prisme réfringent, le rayon, après sa sortie, se trouvait un peu dilaté ; mais il était réservé à Newton de séparer les diverses couleurs qui constituent la lumière blanche.

Si, après avoir pratiqué dans le volet d'une chambre obscure une ouverture circulaire et d'un petit diamètre, on y introduit un rayon lumineux, et qu'on reçoive ce rayon sur un prisme de verre très transparent, il sera dévié en se rapprochant du sommet du prisme, que l'on nomme *angle réfringent du prisme*, et au lieu de former une image circulaire blanche, il formera une image très allongée, composée des plus vives couleurs, disposées en zones parallèles. Cette image est le *spectre solaire*. On y peut compter sept couleurs disposées, dans l'ordre suivant : *rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet*. Mais ces couleurs ne sont pas nettement terminées : ainsi le rouge empiète sur l'orangé, celui-ci sur le jaune, et ainsi des autres ; de sorte qu'outre les sept couleurs principales, on y distingue une infinité de nuances diverses.

De cette expérience, qui a été faite pour la première fois par Newton, et qu'il a variée de mille manières, on en a conclu, et Newton le premier, que la lumière blanche est composée de diverses couleurs, qu'on peut séparer à l'aide du prisme ; et que ces couleurs sont inégalement réfrangibles, c'est-à-dire qu'elles ne suivent pas la même loi de réfraction : ainsi le rouge est le moins réfrangible, l'orangé est moins réfrangible que le jaune, et plus que le rouge, et le violet est le plus réfrangible de tous les rayons.

Maintenant on se demandera si chacune des sept couleurs que nous venons d'observer dans le spectre, n'est point capable de se décomposer, et de donner, par là, naissance à d'autres couleurs ? Pour s'en assurer, il suffit de faire tomber le spectre solaire sur un tableau percé de sept trous, de laisser passer la couleur que l'on veut essayer, puis de faire passer cette couleur à travers un deuxième prisme.

Alors on observe que le rayon coloré se réfracte d'abord, mais qu'il a exactement la même nuance à sa sortie du prisme qu'à son entrée. En opérant ainsi sur les sept couleurs séparément, on trouve qu'elles sont toutes inaltérables, c'est-à-dire qu'elles ne donnent naissance à aucune autre couleur. On a tiré de là cette conséquence, que les sept couleurs principales observées dans le spectre sont des couleurs simples ou primitives.

Chacune des sept couleurs simples n'occupe pas sur le spectre la même étendue. Voici, d'après Newton, l'étendue comparative que chaque couleur occupe, en supposant que la longueur du spectre soit divisée en 360 parties égales :

Le rouge.	45
L'orangé.	27
Le jaune.	48
Le vert.	60
Le bleu.	60
L'indigo.	40
Le violet.. . . .	80

Mais il est évident que l'étendue qu'occupe chaque couleur varie avec l'espèce de verre qu'on emploie; et les proportions ci-dessus ne peuvent donner qu'une indication générale de la distribution des couleurs.

Propriétés calorifiques des rayons.

Rochon est le premier physicien qui ait fait des expériences sur la chaleur des divers rayons qui composent le spectre; il reconnut que les diverses couleurs ne communiquent pas au thermomètre des quantités égales de chaleur. D'après ce physi-

rien, le rayon violet est le moins chaud, et le rayon rouge est celui qui échauffe le plus. La propriété échauffante du rouge est à celle du violet dans le rapport de 8 à 1.

A partir du rayon violet, la chaleur augmente, jusqu'à un demi-pouce au-delà du rayon rouge où elle est à son maximum. M. Leslie, qui a répété les expériences de Rochon, a aussi trouvé que le rayon rouge est plus chaud que le rayon violet, mais dans le rapport de 16 à 1. D'après MM. Leslie et Bérard, il n'y a pas de rayon calorifique au-delà des limites du spectre.

Propriétés chimiques des rayons.

On sait très bien que la lumière solaire a beaucoup d'influence sur les phénomènes chimiques : ainsi sa présence est nécessaire à la végétation et à un grand nombre de phénomènes que nous pourrions citer. Mais ce qu'il est plus important de rechercher, c'est de savoir si cette propriété existe dans tous les rayons, et s'ils la possèdent au même degré. On a remarqué que la réduction de l'oxide d'argent s'effectuait plus promptement dans le rayon violet, et même au-delà de ce rayon et hors du spectre, que dans tout autre rayon. D'après M. Bérard, le chlorure d'argent, tenu près de deux heures dans le rayon rouge, n'éprouvait aucune alteration, tandis que placé dans le rayon violet, cinq minutes suffisaient pour le colorer fortement.

Propriétés magnétiques.

D'après M. Morichini, professeur de chimie à Rome, de petits fils d'acier, placés dans le rayon

violet, acquièrent en peu de temps la vertu magnétique. Ces expériences ont été répétées en France par un grand nombre de physiciens, sans obtenir un succès marqué.

Recomposition de la lumière.

Puisque la lumière blanche est composée de plusieurs couleurs différentes, il est évident que si on réunit en un seul point toutes les couleurs que donne le spectre, on doit former de la lumière blanche : c'est en effet ce que l'expérience nous montre.

On peut recomposer la lumière de deux manières différentes : par réflexion et par réfraction. Dans le premier cas, on fait tomber le spectre solaire sur la surface concave d'un miroir métallique, et, à l'aide d'un écran très blanc et très transparent qu'on place au foyer, on reçoit l'image formée par la réunion de tous les rayons du spectre ; cette image est blanche et très brillante. La recombposition se fait dans le second cas en faisant tomber le spectre solaire sur une lentille convergente, et on trouve que le foyer de la lentille, où tous les rayons se réunissent, est très blanc : donc la réunion des sept couleurs du spectre forme de la lumière blanche : donc enfin la lumière blanche n'est qu'un mélange de diverses couleurs.

Teintes composées, produites par le mélange des couleurs simples.

Si, au lieu de réunir tous les rayons du spectre, on n'en réunit que quelques-uns, on parvient à imiter plus ou moins bien les couleurs simples. C'est ainsi, par exemple, qu'en réunissant le rouge et le jaune, on formera de l'orangé ; on formera du vio-

let, en réunissant le rouge et le bleu ; du vert, avec le jaune et le bleu, etc. On conçoit que ces mélanges peuvent être variés à l'infini, et produire une infinité de nuances diverses ; c'est même de cette manière que les peintres composent leurs couleurs.

Lorsqu'on réunit une partie des couleurs du spectre, on obtient une certaine couleur ; en réunissant l'autre partie, on obtient également une couleur, mais différente de la première ; ces deux couleurs composées sont appelées complémentaires, parce qu'étant toutes réunies, elles forment de la lumière blanche.

De l'arc-en-ciel.

Le phénomène de l'arc-en-ciel n'a lieu que quand il pleut, et que le soleil luit en même temps ; de plus, il faut, pour l'apercevoir, que l'observateur se trouve placé de manière que sa face regarde le nuage qui se résout en pluie, et que son dos soit tourné vers le soleil. On sait que ce météore est formé d'un arc ; mais le plus souvent il y en a deux, parés de toutes les couleurs du spectre. Les couleurs de l'arc inférieur sont moins pâles que celles de l'arc supérieur ; on remarque que, dans l'arc extérieur, c'est le violet qui est la couleur la plus élevée ; et dans l'arc intérieur, c'est le rouge. Il se forme quelquefois aussi un troisième arc, mais les couleurs en sont si faibles, qu'on peut à peine l'apercevoir.

Lorsque la lumière solaire traverse les globules d'eau qui forment le nuage, elle éprouve, en pénétrant dans ces globules, une véritable décomposition, et donne naissance aux couleurs très brillantes qui constituent l'arc-en-ciel. Chaque rayon, après avoir pénétré dans un globule, se réfléchit en partie dans son intérieur dont la surface est concave, mais sous

une obliquité telle, qu'au lieu de sortir du globule, il se réfléchit dans son intérieur, où se trouvant alors moins oblique à la même surface, il en sort en se réfractant de nouveau, pour aller frapper l'œil d'un observateur convenablement placé. L'autre partie de ce rayon se réfléchit encore dans l'intérieur du globule, et l'on conçoit qu'il peut se faire ainsi une infinité de réflexions successives, à chacune desquelles il sort une petite portion de lumière, dont l'intensité est d'autant plus grande, que le nombre de réflexions a été plus petit. Mais comme la lumière blanche se décompose, soit à son entrée dans le globule ou à sa sortie, il en résulte que chaque portion de lumière qui arrive à l'œil de l'observateur, après avoir traversé un globule, lui donne la sensation des couleurs du spectre solaire.

Après que les rayons ont été réfléchis plusieurs fois dans l'intérieur du globule, ils font, en sortant, un certain angle avec leur direction primitive, c'est-à-dire que le rayon réfracté forme avec le rayon incident un angle constant pour les rayons de même nature, qui pénètrent dans le globule sous la même incidence, et qui y subissent un nombre égal de réflexions; que si l'incidence est différente, ou que le nombre de réflexions ne soit pas le même, cet angle varie. On démontre par le calcul que, pour un faisceau de rayons parallèles et de même nature, qui pénètrent dans l'intérieur d'un globule et qui n'y subissent qu'une seule réflexion, l'angle, à partir du rayon normal où il est nul, augmente graduellement jusqu'à un certain point, puis décroît jusqu'au rayon tangent à la sphère. Mais tous les rayons parallèles, qui pénètrent dans le globule, subissent des déviations qui ne diffèrent que très peu entre elles, et qui restent par conséquent sensiblement parallèles après leur sortie, tellement que si un observa-

teur se trouve dans la direction de ces rayons¹, il reçoit une sensation de couleurs très vives. Ceci s'applique également aux rayons qui subissent deux ou trois, et même un plus grand nombre de réflexions.

Ce que nous venons de dire ne s'applique pas à tous les rayons colorés. La limite que nous venons d'indiquer n'a lieu pour le rouge, qui, comme on sait, est le moins réfrangible de tous les rayons, que lorsqu'il sort après une seule réflexion, et qu'il fait, avec le rayon incident, un angle de $42^{\circ} 2'$; d'où l'on voit que cet angle varie jusqu'au rayon violet, qui est le plus réfrangible, et pour lequel il est de $40^{\circ} 17'$.

D'après cela, il est facile de comprendre comment se forment les bandes colorées de l'arc-en-ciel. Supposons un observateur ayant le dos tourné au soleil, et regardant un nuage composé d'une multitude de globules sphériques; chaque rayon envoyé par le soleil traversera chacun de ces globules, et parviendra ensuite à l'œil de l'observateur. Mais le rayon qui peut lui arriver est celui qui fait avec sa direction primitive le plus petit angle; c'est donc le rayon violet, dont l'angle est de $40^{\circ} 17'$; et tous les globules d'eau qui se trouveront dans le même cercle qui a pour centre l'axe du faisceau incident, donneront à l'œil de l'observateur la sensation de violet, et formeront ainsi le violet de la première bande colorée. La même chose arrivera aux rayons rouges, dont l'angle formé par la direction du rayon réfracté avec le rayon incident, est égal à $42^{\circ} 2'$; ils donneront la sensation du rouge, et formeront la dernière bande colorée, c'est-à-dire le rouge. On observera les cinq autres couleurs du spectre selon l'ordre de leur réfrangibilité. On voit, d'après cela, que la largeur du per-

mier arc est la différence de $40^{\circ} 17'$ à $42^{\circ} 2'$, c'est-à-dire $1^{\circ} 45'$.

Au-delà des rayons rouges de la bande inférieure du premier arc, l'observateur ne recevra plus que ceux de ces rayons qui ont subi deux réflexions, et dont l'intensité est très faible. Ces rayons rouges formeront la première bande du second arc. L'observateur recevra de même les rayons violets après deux réflexions, et, entre ces deux couleurs extrêmes, apercevra les autres couleurs. Dans le cas de deux réflexions, l'angle du rayon rouge est égal à $50^{\circ} 59'$, et l'angle du rayon violet, égal à $54^{\circ} 9'$. D'où l'on voit que la distance du premier au second arc est mesurée par la différence de $42^{\circ} 2'$ à $50^{\circ} 59'$, égale à $8^{\circ} 57'$. La largeur du deuxième arc est $54^{\circ} 9'$, — $50^{\circ} 59'$ ou $3^{\circ} 10'$.

On peut, d'après cela concevoir la formation d'un troisième arc, ou même d'un quatrième, suivant que les rayons auront subi trois ou quatre réflexions. La largeur de chaque bande des arcs est déterminée par le diamètre apparent du soleil.

De l'achromatisme.

L'achromatisme a pour but de détruire les couleurs que donnent les images des objets vus à travers des prismes. Si l'on prend deux prismes de même substance, et qu'on les joigne ensemble, de telle sorte que l'arête de l'un soit en bas et celle de l'autre en haut, et qu'ensuite on fasse tomber un rayon solaire sur ce système, l'image du spectre solaire se formera, comme nous savons, de l'autre côté, mais les couleurs seront plus confuses qu'elles ne le seraient si on n'employait qu'un seul prisme, parce que la lumière décomposée, en sortant du

premier prisme, se récompose en partie en traversant le second.

Si on emploie deux prismes de substances différentes, et dont la faculté dispersive soit plus forte dans l'un que dans l'autre, alors il arrivera que les rayons dispersés par le premier prisme seront rassemblés par le second, et on aura ainsi un *prisme achromatique* (sans coloration).

On parvient également à achromatiser les lentilles. Elles sont quelquefois formées d'un verre concave de flint-glass, et de deux verres convexes de crown-glass; quelquefois aussi, et c'est même la forme la plus ordinaire, elles sont composées d'un verre concave de flint-glass, et d'un verre biconvexe de crown-glass. Ces lentilles doivent être travaillées avec un grand soin; on ne leur donne pas les mêmes courbures, mais elles doivent être telles, qu'après la réfraction, tous les rayons colorés puissent se réunir en un seul point, qui est le foyer du système.

Couleurs données par les lames minces.

Tous les corps, lorsqu'ils sont réduits en lames excessivement minces, prennent les diverses couleurs du prisme. Ce phénomène est rendu très visible dans les lames minces de mica (vulg. verre de Moscovie), et dans les lames très minces de chaux sulfatée; ces lames, attirant leur degré de minceur, présentent par réflexion telle ou telle couleur, mais n'est jamais pure, c'est-à-dire simple, comme celle du prisme. Les couleurs données par les lames de mica excessivement minces sont, le plus ordinairement, le rouge pourpre et le vert d'eau; quelquefois elles donnent le jaune rougeâtre et le bleu indigo.

Anneaux colorés.

Newton est le premier qui ait observé qu'en posant un verre légèrement convexe sur une surface plane, il se développait, autour du point de contact, une série d'anneaux diversement colorés. Ce phénomène se produit souvent dans les substances vitreuses, et sur-tout dans les substances lamelleuses; ainsi, dans le sulfate de chaux (chaux sulfatée), il suffit de soulever un peu les lames, à l'aide d'un canif, pour qu'il ait lieu.

Pour observer ces phénomènes avec exactitude, Newton se servait d'un verre convexe d'un grand rayon, qu'il posait sur un verre plan, et il les pressait légèrement pour mieux établir le contact; il voyait les anneaux se montrer aussitôt, très réguliers, très distincts, avec une tache noire à leur centre. Alors chaque lame d'air réfléchit la couleur propre qui convient à son épaisseur, de manière qu'en mesurant exactement le diamètre de chaque anneau, on pourra déduire l'épaisseur de la lame d'air correspondante. Newton a reconnu que les anneaux étaient situés à des distances telles, les uns des autres, que les épaisseurs qui réfléchissaient la lumière suivaient la progression 1, 3, 5, 7, 9...., tandis que les épaisseurs qui la laissaient passer, suivaient la progression 0, 2, 4, 6, 8....; et regardant ces lois comme le résultat d'une disposition particulière des molécules lumineuses, il appela *accès de facile réflexion* le rayon qui tombe sur une lame dont l'épaisseur est un des termes de la progression 1, 3, 5, 7....; et *accès de facile transmission*, quand le rayon tombe sur une lame dont

l'épaisseur est un des termes de la progression 0, 2, 4, 6...., etc.

C'est en partant de là, que Newton est parvenu à déduire l'épaisseur d'une lame, par la couleur qu'elle produit, et à donner l'explication des couleurs propres des corps.

Couleurs des corps.

Si l'on jette un regard sur les différents corps matériels que nous avons journellement sous les yeux, on voit qu'ils nous présentent une variété infinie de couleurs, depuis le blanc le plus éclatant jusqu'au noir le plus foncé.

Newton explique cette coloration des corps par la propriété qu'ont les molécules colorées de lumière de pénétrer jusqu'à une certaine profondeur, qui est très petite, ou d'être réfléchies à des épaisseurs différentes dans les corps. Il suppose les corps formés de molécules infiniment petites, laissant entre elles des intervalles, et que ces corps, par leur densité ou par leur nature, réfractent la lumière plus fortement que la matière qui se trouve dans les intervalles que laissent entre elles les molécules. Ainsi la lumière, en tombant sur les corps, se divise en deux parties : l'une traverse le corps en passant entre ses molécules, et l'autre traverse les molécules mêmes, et y éprouve alors une décomposition qui dépend de la forme et de l'épaisseur de ces molécules ; si cette épaisseur est suffisante pour que les portions de lumière réfléchies par chaque molécule se composent des sept couleurs du spectre, le corps paraîtra blanc, soit par réflexion, soit par réfraction ; mais si l'épaisseur n'est pas suffisante, il n'y aura que les rayons d'une espèce ou d'une autre de réfléchis, et le corps paraîtra coloré.

Cette hypothèse de Newton s'applique aux corps dont les couleurs sont changeantes, comme les plumes des oiseaux, certaines étoffes de soie, la nacre de perle, etc., suivant qu'on les regarde sous des obliquités différentes. Elle s'applique également aux corps qui présentent une couleur par réflexion, et la couleur complémentaire par réfraction.

Mais si l'on veut expliquer les couleurs données par les lames minces, il faut admettre que quelques rayons colorés sont absorbés par les corps, comme par l'effet d'une affinité chimique : dès lors on conçoit que la couleur qu'on voit par réflexion n'est plus complémentaire de celle qui est donnée par réfraction ; c'est en effet ce qui a lieu.

§ IV.

DE L'ŒIL ET DE LA VISION.

L'organe de la vision, dans l'homme et dans un grand nombre d'animaux, est un globe de forme sphérique, un peu aplati à peu près en avant, et composé de divers milieux diaphanes, dont les forces réfringentes sont différentes. La forme et la structure de cet organe sont extrêmement variées dans les différentes espèces d'êtres qui vivent à la surface de la terre et dans les eaux ; mais nous nous bornerons à décrire la structure de l'œil chez l'homme, et nous étudierons ensuite la théorie de la vision.

Structure de l'œil.

L'œil de l'homme se compose de trois membranes ou enveloppes disposées les unes sur les autres.

La première de ces enveloppes ou la plus extérieure est le blanc de l'œil, que l'on nomme *sclérotique* (ss' Fig. 225). Cette membrane est percée dans son milieu, et donne naissance à une autre membrane cc'c'', que l'on nomme *cornée transparente*.

La *choroïde* est la membrane oo' qui se partage en deux, dont l'une forme un cercle coloré er qu'on nomme *iris*; au centre de l'iris est une ouverture ii' qu'on nomme *prunelle* ou *pupille*, et l'autre dd se nomme couronne *ciliaire*. L'*iris* est composé de fibres qui, par leur dilatation ou leur contraction, peuvent agrandir ou rétrécir la prunelle.

La *rétine* RR' est une membrane blanchâtre étendue sur la choroïde, et qui paraît formée par l'expansion du nerf optique.

L'intérieur de l'œil est rempli par trois sortes d'humeurs, qui sont les suivantes :

1° *Le cristallin* C, corps transparent, très peu solide, ayant la forme d'une lentille convergente, mais moins convexe vers l'iris que vers la rétine ;

2° *L'humeur aqueuse*, liquide parfaitement limpide, dont le pouvoir réfringent est sensiblement le même que celui de l'eau, et dont la pesanteur spécifique est à peu près de 0,965; cette humeur est placée entre la cornée transparente et le cristallin ;

3° *L'humeur vitrée*, humeur qui occupe tout l'espace compris entre le cristallin et la rétine; elle est très limpide, moins réfringente que le cristallin et plus réfringente que l'humeur aqueuse.

D'après cette description, on peut considérer l'appareil de l'œil comme étant une lentille achromatique composée de l'humeur aqueuse, du cristallin et de l'humeur vitrée; le fond de l'œil peut être regardé comme celui d'une chambre noire dans laquelle vont se peindre des images des objets exté-

rieurs; mais avec cette différence, que dans la chambre noire il faut que l'observateur soit placé derrière le tableau, pour qu'il aperçoive les images, tandis que la rétine éprouve elle-même la sensation que lui impriment les images, sensation qu'elle transmet au cerveau par le nerf optique.

De la vision.

Les rayons lumineux envoyés à l'œil par les objets éloignés tombent sur la cornée transparente, traversent l'humeur aqueuse et arrivent sur le cristallin, qui les réfracte, de telle sorte qu'ils vont se réunir sur la rétine et y produire les images renversées des objets extérieurs. On nomme axe de l'œil, la ligne qui, partant de l'œil, se dirige vers les objets.

Soit MN (Fig. 226) un objet situé à quelque distance de l'œil, le point M enverra un cône de rayons qui, après leur passage à travers l'humeur aqueuse, le cristallin et l'humeur vitrée, iront former leur foyer en *m*. La même chose arrivera pour le cône de rayons partis du point N, dont le foyer sera en *n*, et l'on voit par là que l'objet MN formera son image en *mn* sur la rétine, mais que cette image sera renversée.

On constate le renversement de l'image en prenant un œil de bœuf ou de mouton, dont on a considérablement aminci la sclérotique, et au-devant duquel on place un objet quelconque, une bougie allumée, par exemple: on voit, en se plaçant derrière l'œil, l'image renversée de l'objet, peinte sur le fond de cet organe.

La vision distincte pour un œil bien conformé a lieu lorsque l'objet est placé à vingt-deux centimètres du globe de l'œil. Quand les objets sont placés

plus près, ils sont vus confusément, parce que les rayons qu'ils envoient à l'œil forment leur foyer au-delà de la rétine.

L'œil peut encore apercevoir très distinctement les objets placés à une distance plus grande que vingt-deux centimètres; ainsi il peut voir très nettement la façade d'une maison, le mât d'un vaisseau, etc., quoique ces objets soient très éloignés.

On a imaginé plusieurs explications pour se rendre compte de la manière dont les rayons envoyés à l'œil, par des objets très éloignés, peuvent se concentrer sur la rétine, et donner ainsi les images des objets placés à des distances différentes. Quelques anatomistes ont cru trouver que l'œil changeait de forme; d'autres ont pensé que le cristallin se déplaçait; d'autres enfin ont cru voir, dans les variations de l'ouverture de la pupille l'explication du phénomène; mais on reconnaît, au premier aperçu, que toutes ces hypothèses sont en défaut, quand on considère que l'œil peut voir en même temps deux objets diversement éloignés.

La seule explication plausible que l'on puisse donner, est de considérer l'humeur vitrée comme composée d'un grand nombre de couches concentriques, dont la densité va en croissant depuis le cristallin jusqu'au fond de l'œil; car si, dans ce cas, on suppose que deux rayons parallèles tombent sur le cristallin, ils seront réfractés et formeront leur foyer entre la rétine et le cristallin; après quoi ces rayons tendront à diverger, de nouveau, de manière à n'aller peindre sur la rétine qu'une image confuse; mais comme nous avons supposé que la densité des couches de l'humeur vitrée augmentait, on voit que chacune d'elles réfractera les rayons, et qu'après plusieurs réfractions, les rayons seront sensiblement parallèles lorsqu'ils arriveront sur le fond

de l'œil, en sorte qu'il pourra se former sur la rétine une image très distincte de l'objet extérieur supposé à une grande distance.

Chez l'homme et chez un grand nombre d'animaux, le même objet est vu par les deux yeux à la fois, et cependant on sait que l'objet ne paraît pas double; cela tient à ce que les rayons tombent exactement sur des points correspondants des deux rétines, et que les impressions qui en résultent sont semblables, et ne produisent qu'une sensation. Mais pour peu que les deux axes optiques ne soient pas dirigés vers le même objet, les images ne se forment plus sur des parties correspondantes des rétines, et l'objet est vu double. C'est ce qui a lieu quand on presse un œil, de manière qu'il soit ou un peu déformé, ou tourné autrement que l'autre; alors l'objet paraît double. Les objets paraissent encore doubles pendant l'ivresse, où l'homme n'est plus capable de diriger ses yeux.

Angle visuel.

L'angle visuel est celui que forment deux rayons qui, partant d'un même objet, vont se croiser dans la pupille. L'ouverture de cet angle est variable; elle dépend du diamètre de l'objet et de sa distance.

La grandeur apparente d'un objet est l'ouverture de l'angle visuel; et comme cet angle varie, il en résulte que la grandeur apparente varie aussi, tandis que la grandeur réelle est constante. Nous jugeons très souvent de la position et de la grandeur des objets par l'angle visuel, et nous nous formons des idées fausses sur leur position et leur grandeur. Ainsi, quand nous sommes placés à l'extrémité d'une longue avenue, les deux rangées d'arbres

semblent se réunir à l'extrémité opposée, en même temps que chaque arbre semble diminuer de grandeur. Cela tient à ce que les parties les plus éloignées de l'avenue sont vues sous des angles de plus en plus petits, et tellement que si l'avenue a une longueur suffisante, les deux rangées d'arbres semblent se joindre en un point, parce que l'angle visuel devient nul. Ainsi, par exemple, si on regarde un cube d'un décimètre de côté, à la distance de trois mètres, on pourra lui substituer un cube de deux décimètres de côté, placé à une distance double, sans que nous puissions juger de sa grandeur réelle.

Des effets analogues se présentent lorsqu'on observe à l'œil nu le soleil ou la lune, à l'horizon ou bien à quelques degrés au-dessus, et mieux encore quand ils sont au méridien. Dans ce dernier cas, ils nous paraissent beaucoup plus petits, parce que quand ils sont à l'horizon, la réfraction détruisant une partie de la lumière, ces corps nous paraissent beaucoup plus éloignés; et ensuite, nous nous sommes habitués à rectifier la grandeur des objets vus à la surface de la terre, en les augmentant dans certaines proportions que nous a enseignées l'expérience journalière; nous faisons la même chose pour les astres à l'horizon. C'est encore à cause de cette rectification que nous voyons un homme avec la même hauteur, quelle que soit sa distance; on l'aperçoit dans sa taille ordinaire, bien qu'on doive le juger plus petit, quand il est plus loin: d'ailleurs il est facile de se convaincre que c'est une erreur de nos sens; pour cela, il suffit de percer une carte d'un trou d'épingle et de regarder les astres par ce trou; on les voit alors aussi petits qu'au zénith, parce qu'on n'a plus de points de comparaison sur l'horizon.

L'action de la lumière sur la rétine n'est pas instantanée : ainsi tout le monde sait que si on regarde fixement pendant quelques instants un corps lumineux, comme le soleil, la rétine conserve longtemps l'impression qu'elle a reçue ; de même qu'un charbon incandescent, mu circulairement avec une grande vitesse, produit sur l'œil l'effet d'un cercle de feu.

L'impression d'un objet sur l'œil ne se fait pas instantanément, car nous ne pouvons pas apercevoir un corps qui se meut avec une grande vitesse, comme un boulet de canon, par exemple, qui est lancé par une bouche à feu.

Moyens de remédier aux défauts de la vue. Voyez
pag. 416, 417.

L'organe de la vision est sujet à une maladie nommée *cataracte*, qui se rencontre principalement chez les vieillards. Cette maladie résulte de l'opacité du cristallin tellement absolue, que la lumière ne pénètre plus dans l'œil. On a imaginé différentes méthodes pour rendre la vue aux personnes affligées de la cataracte, soit en abaissant ou en enfonçant le cristallin dans l'humeur vitrée, soit en l'extrayant totalement ; mais les personnes qui recouvrent ainsi la vue, ne distinguent les objets que confusément, et sont obligées, pour les voir avec quelque netteté, de se servir de lentilles convergentes, d'une très petite courbure.

§ V.

DE QUELQUES INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

On divise les instruments en deux classes. Ceux dans la construction desquels il n'entre que des verres, se nomment *instruments dioptriques*, et ceux dans la construction desquels il entre des verres et des miroirs, *instruments catadioptriques*. On nomme *objectif*, le verre ou le miroir qui est du côté de l'objet; et *oculaire*, celui qui est vers l'œil.

Loupe ou microscope simple.

Le microscope simple n'est composé que d'une seule lentille convergente. Voyez page 413.

Le microscope simple est très utile aux botanistes, qui ont besoin d'observer de très petits objets, tels que les organes sexuels des plantes.

Microscope composé.

Ce microscope est formé d'un assemblage de plusieurs lentilles convexes. La lentille qui est tournée vers l'objet, ou l'objectif, a un foyer très court, de quelques lignes. Le microscope ordinaire est composé de trois verres convexes; mais les meilleurs microscopes sont ceux qu'on nomme *microscopes de Dellebare*; ils sont composés de cinq oculaires et de cinq objectifs (1).

(1) M. Amici, professeur de physique à l'université de Modène, a fait construire deux microscopes qui sont de beau-

Nous n'allons considérer que le microscope composé, formé de deux verres, comme étant le plus simple, parce qu'il sera très facile d'appliquer la même explication aux microscopes composés, formés de trois, ou d'un plus grand nombre de verres.

L'objectif *od* est très petit et très convexe (Fig. 227); on place l'objet *ab* un peu au-delà du foyer de l'objectif; alors les rayons envoyés par l'objet traversent la lentille et forment derrière elle une image renversée *a'b'* de l'objet *a b*. Cette image pourrait être reçue sur un tableau; mais il est évident que si on la regarde avec un verre convexe, de manière que cette image se trouve un peu en-deçà de la distance focale principale du deuxième verre, il en résultera une deuxième image *a'' b''* renversée, mais beaucoup plus grande que la première, qui ne pourra être vue par l'œil, s'il n'est placé en

coup supérieurs à ceux mentionnés ci-dessus, puisqu'ils grossissent les objets, l'un de 100 fois en diamètre, ce qui équivaut à 1 million de fois la surface; et l'autre de 1,500 jusqu'à 3,000 fois en diamètre, c'est-à-dire de 2 millions un quart jusqu'à 9 millions de fois en surface.

A l'aide de ces instruments, M. Amici a fait sur l'anatomie végétale plusieurs observations fort curieuses; ainsi il a vu la circulation de la sève dans toutes les espèces de *charagne* et dans la *caulinia fragilis*. Il a remarqué que le mouvement de la sève a lieu dans un tube sans diaphragme, et la direction des globules qu'on y observe est ascendante et descendante, et qu'ils suivent la direction de quelques petits cercles fixés aux parties internes du tube, lesquels sont formés d'autant de petits grains qui en contiennent dans leur intérieur deux autres plus petits et de couleurs différentes. La disposition merveilleuse de cet appareil a fait penser à M. Amici que la cause d'un pareil mouvement est l'électricité, et que les petits cercles ne sont autre chose qu'une pile voltaïque.

O. C'est de cette manière que l'on dispose l'oculaire dans le microscope. Les lentilles sont fixées aux extrémités de tuyaux qui peuvent s'emboîter et glisser les uns dans les autres, afin de varier la distance des verres.

Microscope solaire.

Le microscope solaire est composé de deux lentilles convergentes AB , $A'B'$, et d'un miroir plan mn . (Fig. 228.)

Le but du miroir plan et de la lentille AB est d'éclairer fortement l'objet très petit os , placé un peu au-delà de la distance focale principale de la lentille $A'B'$; le miroir mn réfléchit la lumière solaire sur la lentille AB , et celle-ci la concentre sur l'objet os ; les rayons envoyés par cet objet traversent la lentille $A'B'$, et vont former une image renversée et très agrandie, sur un tableau blanc, disposé verticalement à quelques mètres de distance. L'image peut être cinq cents ou mille fois plus grande que l'objet; elle est d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que l'objet est plus près de la distance focale principale de la lentille $A'B'$, distance que l'objet ne doit pas dépasser, car il n'y aurait plus d'image produite. On attribue l'invention du microscope solaire à Lieberkuyn.

Mégascope.

Le mégascope est composé d'une lentille convergente AB (Fig. 229), ajustée au volet d'une chambre obscure. On place en dehors de la chambre, dans la direction de l'axe de la lentille, et un peu au-delà de sa distance focale principale, un objet

éclairé fortement par la lumière du soleil, directe ou réfléchié par un miroir plan. Il se forme alors, dans l'intérieur de la chambre, une image renversée et très agrandie de l'objet; elle est d'autant plus grande que l'objet se trouve plus près du foyer principal de la lentille. Pour que l'image soit droite, on renverse l'objet.

M. Charles, à qui nous devons l'invention du mégascope, est parvenu à obtenir un grossissement variable de deux à vingt fois.

Lanterne magique.

La lanterne magique se compose d'une caisse en bois ou en fer-blanc : vers le fond de cette caisse est une lampe allumée. Une partie des rayons que lance la flamme, tombent sur un miroir concave de fer-blanc, disposé derrière la lampe, puis ils sont réfléchis, et vont tomber sur une lentille qui les concentre et les renvoie sur un verre plan très mince, où sont dessinées diverses figures. En avant de ce verre plan est une deuxième lentille convergente, à travers laquelle tous les rayons envoyés par une figure se croisent, et passent ensuite par une ouverture circulaire pratiquée dans une plaque de cuivre, noircie et placée à une certaine distance de la lentille; après quoi ils tombent sur une troisième lentille, qui peut être éloignée ou rapprochée de la seconde, à l'aide d'un tuyau mobile, la traversent et vont former, sur un tableau blanc (qui est le plus souvent la muraille, recouverte d'une toile blanche), l'image, très agrandie, de la figure tracée sur le verre plan.

La lanterne magique a été inventée par le P. Kircher.

Fantasmagorie.

La fantasmagorie n'est que la lanterne magique légèrement modifiée ; mais les effets qu'elle est capable de produire sont beaucoup plus imposants.

L'opération se fait dans un lieu très obscur, dont les parois sont tapissées en noir : la toile ne reçoit d'autre lumière que celle de l'appareil qui est derrière elle, du côté opposé aux spectateurs. C'est sur cette toile (que les spectateurs ne voient pas) que se peignent les images représentant des objets plus ou moins effrayants.

Au commencement de l'opération, on voit paraître un spectre, d'abord extrêmement petit, qui ensuite s'accroît rapidement, et semble s'avancer à grands pas vers les spectateurs, qui se laissent aisément séduire par l'illusion ; car l'obscurité du lieu les empêche de voir que l'image ne change pas de place, mais seulement de dimensions.

L'instrument est monté sur des roulettes garnies de drap, pouvant se mouvoir dans des rainures, également garnies de drap, pratiquées dans le plancher, afin de faire le moins de bruit possible. La figure est peinte sur un verre plan, et on a le soin de mettre un vernis noir sur toutes les parties du verre où la figure n'existe pas, afin de fermer le passage à la lumière. Cette figure est éclairée et placée derrière la première lentille, comme dans la lanterne magique. Les rayons envoyés par la figure traversent successivement les deux lentilles (ces deux lentilles sont disposées de manière que la troisième peut, à l'aide d'une crémaillère, s'approcher ou s'éloigner de la deuxième), et vont former sur la toile l'image de l'objet qui est peint sur le verre plan. Si cette image est très grande, et qu'on veuille

la rendre très petite, il suffira de rapprocher l'instrument de la toile, et d'éloigner la troisième lentille de la deuxième, par le moyen de la crémaillère; si, au contraire, l'image est très petite, et qu'on veuille la rendre très grande, on rapprochera la troisième lentille de la deuxième, en même temps qu'on éloignera l'instrument.

Il faut avoir beaucoup d'habitude pour manœuvrer cet instrument avec succès.

Chambre noire.

Si, au volet d'une chambre obscure, on perce un trou circulaire, et que, dans ce trou, on ajuste une lentille convergente, on aura, en plaçant un tableau blanc derrière le verre, une image très nette, mais renversée, des objets situés vis-à-vis.

La chambre obscure portative se compose d'une caisse rectangulaire en bois, portant une lentille convergente à l'une de ses extrémités (Fig. 230): Les rayons envoyés par les objets extérieurs, traversent la lentille, se réfléchissent sur le miroir mn , et vont former une image droite des objets, sur un verre dépoli $o' b'$. Si la lentille est achromatique, l'image se peint avec une grande netteté, et est exempte de couleurs étrangères.

Camera lucida.

La chambre claire ou *Camera lucida*, est un petit instrument très ingénieux, imaginé par le docteur Wollaston.

Cet appareil se compose d'un prisme de verre quadrangulaire AB (Fig. 231), disposé de manière que AB soit la face tournée du côté des objets. Les

rayons envoyés par les objets pénètrent sans réfraction dans le prisme, par la face AB, mais ils se réfléchissent totalement sur les faces intérieures, et arrivent à l'œil de l'observateur placé en *o*. L'œil voit à travers le prisme une image des objets, droite et horizontale, et s'il est placé de manière que les rayons réfléchis n'occupent que la moitié de la pupille, il verra en même temps l'image des objets et la feuille de papier sur laquelle l'image semble projetée; l'observateur pourra alors, à l'aide d'un crayon, dessiner les objets.

Deux verres périscopiques accompagnent l'instrument, pour que l'observateur fasse usage de l'un ou de l'autre, selon sa vue, s'il est myope ou presbyte.

Lunette astronomique.

La lunette astronomique se compose de deux lentilles biconvexes, d'un objectif et d'un oculaire (Fig. 232).

Soit AB un objet supposé très éloigné; les rayons envoyés par cet objet iront former une image renversée A'B', au foyer principal de l'objectif *ob*. On place l'oculaire *cc* de manière que l'image A'B' soit sensiblement à son foyer, en sorte que l'œil étant placé en O, où se fait la concentration des rayons A'C et B'C, il verra l'image renversée de l'objet à travers l'oculaire, et beaucoup agrandie. On trouve, par le calcul, que la grandeur de l'objet est à la grandeur de l'image comme la distance focale de l'oculaire est à celle de l'objectif.

On doit remarquer que, dans cette lunette, les objets sont vus renversés; mais ce renversement n'influe en rien dans les observations astronomiques,

Lunette terrestre.

En ajoutant deux verres convergents à la lunette astronomique, on parvient à redresser les objets. Ces verres se nomment oculaires, et l'instrument, *lunette terrestre*.

La lunette terrestre est représentée par la fig. 233.

Plus les objets vus à travers cette lunette sont éloignés, plus il faut la raccourcir pour les voir avec la même netteté; ce à quoi on parvient facilement en faisant mouvoir un tuyau qui porte les trois oculaires, de manière que le dernier se rapproche de l'objectif. Pour voir des objets à de moindres distances, on éloigne le premier oculaire de l'objectif, en allongeant le tuyau.

Lunette de Galilée.

Si l'on substitue à l'oculaire convergent de la lunette astronomique une lentille divergente, on aura une lunette connue sous les noms de *lunette batavique*, *lunette d'opéra* ou *lunette de Galilée* (Fig. 234).

Soit AB un objet éloigné; les rayons émanés de cet objet iront former une image renversée en A'B' au-delà de l'objectif *cc*; mais cette image sera redressée, si on place un oculaire divergent *dd* avant le croisement des rayons. Alors chaque rayon sera réfracté en s'éloignant de l'axe, de sorte que si on place l'œil très près de l'oculaire, on verra l'image droite sur le prolongement des rayons réfractés.

Les lunettes sont dites *achromatiques* quand l'objectif est lui-même achromatique.

Télescope newtonien.

Supposons que AB (Fig. 235) soit l'image d'un objet extrêmement éloigné, produite par la réflexion d'un miroir concave MN , de manière que SMA , RCA représentent les rayons envoyés par le point de l'objet correspondant à la portion A de l'image. Plaçons maintenant un miroir plan métallique oc , incliné de 45 degrés à l'axe xx' du miroir concave, il en résultera une autre image ab , qu'on pourra voir très amplifiée et renversée, à l'aide d'une lentille convergente U , placée convenablement. Tel est le télescope de Newton.

On a modifié de bien des manières la forme de cet instrument. Jacques Grégori a construit un télescope dans la confection duquel il employait deux miroirs, l'un parabolique, l'autre elliptique; mais ces miroirs étant d'une construction très difficile, on les remplace par des miroirs sphériques. Le plus grand est placé au fond du tuyau et percé d'un trou circulaire dans son milieu; l'autre, qui est très petit, est placé à l'autre extrémité du tuyau, et sa concavité est tournée vers le grand miroir. L'image formée par la réflexion sur le grand miroir est projetée sur le petit, qui la renvoie à son tour par l'ouverture pratiquée dans le grand miroir, et où se trouvent deux oculaires, dont le premier forme une nouvelle image, image de laquelle partent les rayons pour se rendre à l'œil, en traversant le deuxième verre.

Ce télescope est de beaucoup préférable à celui de Newton pour les observations terrestres, parce que les objets sont vus dans leur véritable position; mais les images sont bien plus vives et mieux ter-

minées dans le télescope de Newton que dans celui de Grégori.

Héliostat.

L'héliostat est un instrument dont l'objet est de réfléchir l'image du soleil vers un point déterminé, de telle sorte que la position de l'image soit fixe, tandis que le soleil prend toutes les positions apparentes, causées par le mouvement réel de la terre.

Les uns attribuent l'invention de cet instrument à S' Gravesande, professeur hollandais, et les autres à Fahrenheit, physicien anglais. Mais cet instrument étant trop compliqué pour que nous en donnions ici la description, nous parlerons seulement de l'héliostat que M. Gambey vient de construire, comme étant de beaucoup supérieur et plus simple que le précédent. Voici, d'après M. Gambey lui-même, le principe sur lequel est fondé cet instrument.

Supposons que la ligne CD (Fig. 236) soit l'axe de rotation du mouvement apparent du soleil, la ligne BC la direction des rayons incidents de cet astre, et la ligne CA celle des rayons réfléchis; la ligne BC étant égale à la ligne AC, formera, avec la ligne AB, un triangle isocèle, de sorte qu'en plaçant un miroir parallèlement à cette dernière ligne, et perpendiculairement au plan du triangle ABC, ce miroir sera dans une position convenable pour réfléchir les rayons BC dans la direction CA, ce qui est la condition que doit remplir l'instrument. En voici la démonstration :

L'angle CRA est égal à l'angle CAB. Ces deux angles sont opposés et égaux, l'un à l'angle d'incidence, et l'autre à l'angle de réflexion.

On voit maintenant que si l'on fait tourner la ligne CB autour de la ligne CD, d'un mouvement égal à celui du soleil, et si cette ligne CB forme avec la ligne EF, qui représente l'équateur, un angle égal à celui de la déclinaison du soleil, et que, d'ailleurs, la ligne CD soit parallèle à l'axe du monde, il est évident qu'à telle époque du jour que ce soit, la ligne CB sera la direction des rayons incidents, et la ligne AB, étant susceptible de tourner sur le point A, et de glisser sur le point B, sera toujours la base d'un triangle isocèle.

Ainsi, en employant un mouvement d'horlogerie, de manière à faire tourner en 24 heures la ligne CB autour de la ligne CD, et en mettant sur la première de ces deux lignes un arc gradué, pour placer cette ligne à la déclinaison du soleil, et un quart de cercle sur la ligne CD, pour placer cette dernière ligne à la hauteur du pôle, en même temps qu'on la place dans la direction méridienne au moyen d'un viseur placé sur le pied de l'instrument, et si on ajoute à tout cela un miroir plan sur la ligne AB, on pourra se faire une idée exacte de l'héliostat de M. Gambey. Nous renvoyons, pour de plus amples détails à la description de cet instrument, que M. Hachette a bien voulu publier.

§ VI.

DE LA DOUBLE RÉFRACTION.

Nous avons vu précédemment que lorsqu'un rayon lumineux tombait sur un corps diaphane sous une certaine obliquité, il pénétrait dans ce corps, y

éprouvait le changement de direction, auquel nous avons donné le nom de réfraction, et nous avons vu que le rayon incident et le rayon réfracté sont toujours dans un même plan perpendiculaire à la surface commune des deux milieux. Mais il existe un certain nombre de corps diaphanes cristallisés, qui ont la propriété de partager le rayon réfracté en deux : l'un suit la loi de réfraction que nous venons de rappeler, c'est le *rayon ordinaire* ; l'autre suit une autre loi, c'est le *rayon extraordinaire*. Voilà en quoi consiste le phénomène de la double réfraction.

Le spath d'Islande (*chaux carbonatée*) est le cristal où le phénomène de la double réfraction a été observé pour la première fois, et dans lequel aussi ce phénomène se produit avec le plus d'énergie.

On nomme axe du cristal, dans un rhomboïde, la ligne AA' (Fig. 237), qui joint les deux angles égaux opposés.

Tous les corps doués de la double réfraction ne présentent pas ce phénomène avec la même intensité, quel que soit le sens dans lequel les rayons les traversent : ainsi, quand on place un rhomboïde de spath d'Islande (*chaux carbonatée*) sur un point noir, on peut le voir double ; mais en changeant la position du rhomboïde, on trouvera qu'il y en a une où le point est unique ; cette position est celle du plan perpendiculaire à l'axe du cristal : on a donné à ce plan un nom particulier, on l'appelle *section principale*.

Le phénomène de la double réfraction conduit à considérer l'axe d'un cristal comme le centre d'une force tantôt attractive et tantôt répulsive, qui change la marche d'une partie des molécules lumineuses ; elle n'a pas lieu dans le même sens pour toutes les substances. Dans quelques-unes ; le rayon extraor-

dinaire est repoussé, c'est-à-dire qu'il s'éloigne de l'axe de réfraction; dans les autres, au contraire, il est attiré, c'est-à-dire qu'il s'en approche.

Dans le cristal de roche, le rayon extraordinaire se rapproche de l'axe, tandis que, dans l'émeraude, la tourmaline, le carbonate de chaux, etc., il s'en éloigne.

Quelques substances cristallisées régulièrement possèdent deux axes qui sont toujours situés symétriquement par rapport aux formes cristallines : tels sont les micas, les topazes, les sulfates de strontiane, de baryte, etc. Dans quelques-unes de ces substances, les deux axes produisent une double réfraction attractive; dans d'autres, ils produisent une double réfraction répulsive.

Micromètre.

Cet instrument, qui a été imaginé par Rochon, est une application des effets de la double réfraction.

Ce micromètre consiste en un double prisme rectangulaire de spath d'Islande (chaux carbonatée); qui permet de voir les images doubles. On adapte ce prisme au tuyau d'une lunette. Lorsqu'on regarde un objet quelconque très éloigné, les deux images sont plus ou moins rapprochées, selon la position du prisme, et l'on peut les faire coïncider tout-à-fait. La lunette porte une échelle qui marque les mouvements du prisme, cette échelle est tellement divisée, qu'on peut mesurer la distance de l'objet qu'on regarde, pourvu que l'on connaisse sa grandeur, ou réciproquement.

Polarisation fixe de la lumière.

Lorsqu'un rayon lumineux traverse un rhomboïde de spath d'Islande, nous savons qu'il se divise en deux ; mais ce qu'il y a de remarquable , c'est que si on fait tomber perpendiculairement ces deux rayons sur un deuxième rhomboïde dont la section principale soit parallèle à celle du premier , ils ne se divisent plus. Le rayon provenant de la réfraction ordinaire , dans le premier cristal , se réfracte ordinairement dans le second cristal , et le rayon extraordinaire dans le premier cristal , se réfracte extraordinairement dans le second.

Quand les sections principales sont à angle droit , le rayon réfracté ordinairement par le premier cristal est réfracté extraordinairement par le second cristal ; et , réciproquement , le rayon réfracté extraordinairement par le premier cristal , est réfracté ordinairement par le second. Il n'y a alors que deux images ; mais pour peu qu'on fasse tourner l'un ou l'autre des rhomboïdes , chaque rayon se divise en deux et donne naissance à de nouvelles images , d'abord faibles , mais dont l'intensité augmente peu à peu ; à mesure qu'on tourne le rhomboïde , les deux premières images deviennent plus pâles , et enfin elles disparaissent quand les deux sections principales sont à angle droit.

Malus a fait voir que la lumière réfléchie par diverses substances , sous certains angles , acquérait les mêmes propriétés qu'en traversant un rhomboïde de spath d'Islande. Par exemple , si l'on fait tomber un rayon solaire sur une glace polie , sous l'angle de $35^{\circ} 25'$, on trouvera que ce rayon , après sa réflexion , jouira des mêmes propriétés qu'un rayon extraordinaire ; car si on reçoit ce rayon sur un

rhomboïde de spath d'Islande, on trouvera qu'il y a deux positions où il n'éprouve, dans son passage, aucune division; ces positions sont celles où la section principale est perpendiculaire ou parallèle au plan de réflexion. Dans le premier cas, le rayon jouit des propriétés, du rayon *extraordinaire*, et dans le second, des propriétés du rayon *ordinaire*.

Quand on reçoit, sur une deuxième glace, un rayon solaire déjà réfléchi sur une première, sous l'angle de $35^{\circ} 25'$, disposée de manière que l'incidence soit la même que pour la première, on remarque que si les deux réflexions se font dans le même plan, l'intensité de la lumière est à son maximum; que si le plan de réflexion de la deuxième glace est perpendiculaire au plan de réflexion de la première, la lumière cesse d'être réfléchie.

On voit, d'après cela, que la lumière modifiée par la réfraction, ou par la réflexion sous une certaine incidence, manifeste des propriétés différentes, suivant les faces qu'une surface réfléchissante lui présente.

Ces observations ont conduit Malus à supposer que les phénomènes dont nous venons de parler dépendent de la position que prennent les molécules lumineuses les unes à l'égard des autres, et de leur forme. Il suppose que les molécules lumineuses ont deux pôles jouissant de propriétés différentes, qu'elles sont ordinairement mêlées, sans ordre, par rapport à leurs pôles, mais qu'en traversant un cristal, les unes sont dirigées perpendiculairement, les autres parallèlement à la section principale, et ont leurs faces opposées tournées dans le même sens. Malus compare cette disposition des molécules à un aimant très puissant qui tournerait les pôles d'un grand nombre d'aiguilles aimantées, tous

dans le même sens. De là l'expression de *polarisation de la lumière*.

Polarisation mobile.

Dans les expériences précédentes, nous avons reconnu qu'un rayon de lumière, en pénétrant dans un cristal doué de la double réfraction, se divise en deux, l'un ordinaire et l'autre extraordinaire, dans chacun desquels les molécules lumineuses prennent des positions respectives particulières. Mais M. Biot a découvert que ces molécules ne se rangent pas subitement dans ces positions, dès leur entrée dans le cristal; elles n'y parviennent que progressivement, et à des profondeurs d'autant plus grandes, que la force attractive ou répulsive est moindre. A mesure que les molécules lumineuses pénètrent dans le cristal, elles tournent alternativement leurs axes, comme par une sorte d'oscillation, de part et d'autre des plans où elles doivent définitivement se diriger. C'est à ces phénomènes que M. Biot a donné le nom de *polarisation mobile*, pour les distinguer de la polarisation définitive, qu'il nomme *polarisation fixe*.

M. Biot a été conduit à ces résultats par une observation de M. Arago, faite sur la chaux sulfatée et le mica. Suivant ce savant, lorsqu'on expose une lame de mica ou de chaux sulfatée à un rayon polarisé, et qu'on regarde l'image qui en résulte, à travers un prisme de spath d'Islande, on la voit se résoudre en deux images diversement colorées, dont les teintes sont changeantes, complémentaires l'une de l'autre, variant avec l'épaisseur des lames, et avec leurs positions relatives aux axes des molécules qui les traversent.

En étudiant avec soin ces phénomènes, on trouve que lorsqu'un rayon polarisé traverse une plaque cristallisée, à surfaces parallèles et formées d'un seul axe, il y a deux positions où il conserve sa polarisation primitive; il la conserve : 1° quand la section principale du cristal est parallèle au plan de polarisation primitif du rayon, et alors le rayon traverse entièrement la plaque à l'état ordinaire; 2° quand cette même section est perpendiculaire au plan de polarisation du rayon, alors celui-ci est entièrement extraordinaire : de manière que si on fait ces deux expériences sur une même plaque, et qu'on y pratique deux sections suivant ces deux sens, l'une d'elles sera la section principale, qui contiendra l'axe de double réfraction.

Les détails dans lesquels nous serions obligés d'entrer, pour donner une idée juste des principes établis par M. Biot, et de leurs applications à divers phénomènes, nous entraîneraient au-delà des bornes que nous nous sommes tracées dans un ouvrage de la nature de celui-ci. Nous renvoyons donc à la *Physique* de M. Biot, ou à ses *Recherches sur la lumière*; Paris, 1814.

Nous terminerons cet article en faisant remarquer que la lumière qui émane d'un corps solide ou en fusion, ne provient pas seulement de sa surface, mais qu'elle s'échappe en quelque sorte de l'intérieur du corps, à une certaine profondeur, et traverse ainsi une couche de substances plus ou moins épaisse. Or, la lumière qui émane d'un tel corps est en partie polarisée, tandis que la lumière qui traverse les fluides élastiques n'éprouve pas ce phénomène; et comme la lumière solaire n'est point polarisée, il en résulte que nous sommes portés à croire que cette lumière a sa source dans une atmosphère très chaude répandue autour du soleil; ce

qui tend à confirmer les conjectures de Schroëter , de Bade , d'Herschel , sur l'existence d'une atmosphère solaire.

De la diffraction.

On nomme *diffraction* le genre de modification que la lumière éprouve en rasant les extrémités des corps.

Pour observer ce phénomène , on introduit un rayon solaire dans une chambre obscure , par une ouverture d'un très petit diamètre , et l'on place sur sa route un corps opaque très délié et très étroit , comme un fil d'acier , ou une petite bande de carton : alors on observe de chaque côté de l'ombre donnée par le corps , plusieurs franges ou bandes colorées très nettes et bien terminées , séparées par d'autres franges obscures. Si le corps est très étroit , on voit même des franges dans son ombre ; elles sont alternativement claires et obscures. On nomme ces dernières *franges , extérieures* , et les premières , *franges intérieures*.

Grimaldi paraît être le premier physicien qui ait observé ce phénomène.

Si on introduit un rayon coloré par l'ouverture de la chambre obscure , et qu'ensuite on le fasse tomber sur un corps comme ci-dessus , on n'observe que des franges de la même couleur , mais qui sont séparées par des bandes noires.

Il est à remarquer que la forme et la nature du corps opaque que l'on interpose dans les rayons , n'ont aucune influence sur le phénomène.

M. Fresnel est parvenu à mesurer la largeur des franges , et les courbes qu'elles suivent ; il a reconnu que ces courbes sont des hyperboles. Ces

phénomènes ne s'expliquent bien que dans le système des ondulations. (*Voyez à ce sujet le travail de M. Fresnel, Ann. de Physique et de Chimie, tom. XI.*)

Observation générale.

Dans cet ouvrage, nous avons considéré la chaleur comme un fluide particulier, mais nous devons observer que, d'après les calculs les plus récents, relatifs aux ondulations de la lumière, on est porté à considérer la chaleur comme un mouvement vibratoire qui s'exécute entre les particules des corps. La véritable théorie de la lumière nous semble aussi être celle des ondulations, quoique nous n'en ayons pas fait usage généralement, parce que les explications restant à peu près les mêmes, et d'un autre côté les idées de rayons étant plus familières à tout le monde, elles favorisent beaucoup l'intelligence des phénomènes. Des recherches qui se poursuivent de toutes parts avec une grande activité, des considérations théoriques ingénieuses, tendent également à rapprocher d'abord les fluides électrique et magnétique qui, pour la plupart des savants, paraissent déjà identiques, et le fluide électrique de la chaleur. En sorte qu'en définitive on rapporterait la cause des phénomènes à deux fluides, dont les modifications produiraient les effets que nous attribuons à des corps différents. Il faut être extrêmement prudent, dans l'adoption de semblables hypothèses, pour n'être pas obligé de rétrograder ensuite et d'établir de nouvelles bases; mais néanmoins ne semble-t-il pas plus rationnel de réduire le nombre des agents, et de croire que la nature trouve sa richesse dans cette pauvreté apparente, semblable

à ces principes qui deviennent d'autant plus féconds qu'ils se généralisent davantage.

CHAPITRE XVI.

MÉTÉOROLOGIE.

Sous le nom de météorologie, on a désigné d'abord la partie de la physique consacrée aux phénomènes aériens qui paraissaient d'une manière irrégulière, et dont quelques-uns causaient la terreur; mais on a depuis agrandi le sens de ce mot, et quelques auteurs comprennent sous la même dénomination la chaleur du globe, les volcans, les eaux thermales, etc., etc. Mais nous n'entrerons pas dans tous ces détails en particulier.

Nous diviserons ce chapitre en deux paragraphes, dont le premier comprendra les instruments météorologiques, dont la plupart sont dus à M. Leslie, et que son amitié nous a mis à même de faire connaître: le second paragraphe traitera de l'atmosphère, des vents, etc., etc.

§ I^{er}.

Les instruments propres à faire les observations météorologiques sont au nombre de onze, savoir:

1° le baromètre, qui mesure la pression atmosphérique; 2° le thermomètre, qui indique les degrés de chaleur; 3° l'hygromètre, qui marque la sécheresse relative; 4° l'atmomètre, pour mesurer la quantité de vapeur que laisse échapper en un temps donné la surface de la terre; 5° le photomètre, qui indique l'intensité de la lumière transmise du soleil à la terre, ou réfléchi par le ciel; 6° l'æthroscope, qui découvre le froid venant des régions élevées de l'atmosphère; 7° le cyanomètre, qui désigne la gradation des teintes bleues dans l'azur céleste; 8° l'anémomètre, qui mesure la force du vent; 9° l'ombromètre ou hydromètre, qui marque combien il tombe de pluie, de grêle et de neige par jour; 10° l'électromètre, pour indiquer l'état électrique de l'air; 11° enfin, le drosomètre avec lequel on mesure la rosée.

Quoique nous ayons déjà parlé du thermomètre différentiel, nous reviendrons sur sa description, en nous servant des mêmes expressions que nous avons employées pour l'extrait donné dans les Mémoires du Muséum d'histoire naturelle.

Thermomètre différentiel.

Le thermomètre à air, susceptible d'ailleurs de grandes variations, devient tout-à-fait sans usage, parce qu'il est affecté non-seulement par la température du lieu où il est placé, mais encore par la pression atmosphérique à laquelle il est soumis. Une modification assez simple peut le convertir en un instrument d'une grande utilité dans les différentes recherches de physique où l'on a besoin d'une grande sensibilité. Pour construire cet instrument, on souffle une boule de verre à l'extrémité d'un tube de

même matière ; puis on soude ce tube à un autre plus long, et terminé également par une boule contenant de l'air, comme celle de l'autre tube, mais renfermant en outre une petite quantité d'un liquide coloré. Alors on courbe le tube à la flamme d'une lampe d'émailleur, et on lui donne à peu près la forme de la lettre U. Quant à la hauteur du liquide, on la règle en faisant passer, au besoin, quelques bulles d'air d'une des boules dans l'autre, au moyen d'un petit élargissement ménagé dans le tube au point où l'on a fait la soudure (Fig. 238). Si les deux boules sont exposées à une même température, le liquide restera évidemment stationnaire ; mais si la boule du tube le plus court est échauffée, l'air se dilatant acquerra une plus grande force élastique, et abaissera le liquide dans ce même tube ; ou si cette boule est refroidie, l'air se condensant laissera monter le liquide dans ce tube, parce que l'élasticité de l'air contenu dans la boule opposée deviendra prédominante. L'abaissement ou l'élévation du liquide indiquera par conséquent l'excès de chaleur ou l'infériorité de température de l'autre boule, et l'espace qu'il parcourt dans ces variations, sert de mesure à la différence de température. Les tubes peuvent avoir un diamètre d'un cinquantième à un vingtième de pouce, et les boules peuvent en avoir un qui varie d'un quart de pouce à un pouce et demi. Le liquide que l'on doit préférer est l'acide sulfurique coloré avec du carmin, parce qu'il conserve sa couleur, quoiqu'on l'expose au soleil, et parce qu'il n'altère ni la sécheresse ni l'élasticité de l'air renfermé dans les boules, et qui le presse de part et d'autre. L'alcool est plus léger et plus mobile ; mais comme les vapeurs auxquelles il donne lieu se mélangent différemment à l'air et le dilatent diversement suivant les températures, il trouble

l'exactitude des indications. Pour estimer la différence de température des deux boules, on a adapté une échelle divisée en *millièmes* (où l'intervalle compris entre la glace fondante et l'eau bouillante a été divisé en mille parties qui forment autant de degrés).

Le thermomètre différentiel peut varier dans ses dimensions, suivant le but qu'il doit atteindre. Une des formes les plus convenables est la verticale, dans laquelle le liquide coloré est soutenu à la base par l'attraction capillaire d'un cylindre dont le diamètre n'excède pas un dixième de pouce, et qui se termine inférieurement par une boule.

Le Pyroscope.

Cet instrument, qui est principalement destiné à la mesure de l'intensité d'un feu ordinaire, n'est autre chose que le thermomètre différentiel réduit à sa plus grande simplicité. Tout le changement consiste à recouvrir complètement d'une épaisse feuille d'or ou d'argent la boule qui sert de réservoir au liquide coloré. Les *ondes chaudes* qui partent continuellement du foyer pour se répandre dans la chambre, sont en très grande partie réfléchies par la surface brillante du métal qui recouvre une des boules du pyroscope, tandis que l'autre boule, qui est découverte, reçoit toute l'impression de la chaleur; et l'on voit alors le liquide s'abaisser d'une quantité proportionnelle dans le tube. L'action de la chaleur diminue comme le carré de la distance, à mesure qu'on s'éloigne du feu; et cependant la sensibilité de l'instrument est telle, qu'il est visiblement affecté, même lorsqu'il est placé dans les parties les plus éloignées de l'appar-

tement. Exposé dans une chambre quelconque , et à la même distance , il indiquera la force absolue du feu , ou mesurera les ondes calorifiques qui se répandront dans l'appartement.

Le pyroscope pourra servir également à indiquer les ondes émises par une surface froide. Dans un lieu chaud , il est sensiblement affecté , à plusieurs pouces de distance , par l'impression de froid que produit un vase de terre rempli d'eau sortant du puits.

Photomètre.

Cet instrument a été inventé pour évaluer le pouvoir éclairant , par l'observation de la légère élévation de température produite par la lumière. A cet effet , l'une des boules du thermomètre différentiel est soufflée en verre noir ou en émail de même couleur , tandis que l'autre est construite en verre transparent. Les rayons de lumière qui tombent sur celle-ci , la traversent sans obstacle ; mais ceux qui frappent la boule noire , sont absorbés par elle , en lui communiquant de la chaleur. Cette chaleur doit s'y accumuler jusqu'à ce que la perte qui a lieu dans l'air , arrive à balancer exactement l'accroissement constant de la température. La quantité dont s'abaisse alors le liquide coloré dans le tube , mesure les impressions momentanées de la lumière ou son intensité actuelle. Pour prévenir dans l'atmosphère une agitation étrangère qui accélérerait la perte de la chaleur à la surface de la boule noire , et qui par conséquent diminuerait l'effet total produit , on recouvre d'une cage de verre transparent tout l'instrument , sur-tout si l'on veut opérer en plein air.

Le photomètre est susceptible de quelques variations dans sa construction. Les fig. 239 et 240 représentent ses deux formes les plus ordinaires. La première est le photomètre *portatif*. La boule noire étant élevée d'un pouce au-dessus de l'autre, et recourbée en avant et de manière à être placée dans la même ligne verticale, peut être renfermée dans un étui de bois ou de métal qui la garantit des accidents. Le second photomètre est *stationnaire*. Ses deux boules sont à la même hauteur, et inclinées en sens opposés. Le photomètre placé en plein air montre distinctement les progrès de la lumière, depuis l'instant du lever de l'aurore jusqu'à la chaleur la plus intense du milieu de la journée; et son abaissement graduel, à partir de cet instant jusqu'à ce que l'obscurité enveloppe l'hémisphère, nous apprend la diminution de la clarté.

Il nous montre aussi que l'intensité de la lumière augmente à partir du solstice d'hiver jusqu'aux chaleurs les plus fortes de l'été, et qu'elle décroît au contraire à partir de ce dernier instant jusqu'à ce que les ombres de plus en plus épaisses de l'automne nous aient ramené à l'hiver. Nous pouvons même, à l'aide de cet instrument, comparer avec une exactitude numérique l'éclat de la lumière dans les différentes régions : le ciel brillant de l'Italie, par exemple, avec l'atmosphère brumeuse et sombre de la Hollande.

Dans ce climat (1), l'action directe du soleil vers l'heure de midi s'élève environ à 90°; mais le liquide

(1) Probablement à Édimbourg, où M. Leslie a fait imprimer le Mémoire à la traduction duquel nous a invité son amitié, (*Note du trad.*)

s'abaisse dans l'instrument à mesure que les rayons deviennent plus obliques. Lorsque le soleil est à une hauteur de 17° , l'effet est réduit à moitié ; et à la hauteur de 3° , le photomètre ne marque plus qu'un degré de l'échelle divisée en mille parties ; mais au cœur de l'hiver le maximum d'intensité de la lumière ne va pas au-delà de 25° .

La quantité de lumière indirecte qui nous vient du ciel, quoique extrêmement variable dans nos climats, est souvent considérable. On peut l'estimer à 30 ou 40° en été, et à 10 ou 15 en hiver.

Cette seconde lumière est beaucoup plus puissante quand le ciel est couvert de nuages légers et floconneux. Elle est à son minimum quand les rayons sont arrêtés par une masse de brouillards épais, ou quand l'atmosphère est *claire* et d'un azur très foncé. Sur les sommets élevés des Alpes ou des Andes, le photomètre, à l'abri du soleil, soumis à l'action du reste de la voûte du ciel non exposé au soleil, n'indiquerait qu'un effet presque nul. Durant la dernière éclipse de soleil, du 7 septembre, tandis que le ciel était complètement ombragé, il indiquait, avant et après le passage du disque de la lune, 12° de lumière, tandis qu'à l'instant de la plus grande obscurité, il n'en marquait plus qu'un seul. La délicatesse de cet instrument en fait un auxiliaire puissant dans différentes recherches scientifiques. Il accuse la diminution que les rayons de lumière éprouvent quand ils sont réfléchis, ou quand ils traversent différentes substances transparentes. En l'adaptant au récipient d'une machine pneumatique, il révèle également la puissance relative de conductibilité des différents gaz, à divers points de raréfaction.

Le photomètre sert encore à évaluer l'intensité relative des différentes lumières artificielles, et même

les différences de leur puissance d'illumination comparée avec celle des rayons solaires. On peut mentionner, comme une conséquence curieuse de ce fait, que la lumière émise par le soleil, est douze mille fois plus énergique que la flamme d'une bougie; en d'autres termes, que si une portion de la matière lumineuse du soleil, dont le diamètre serait un peu moins d'un pouce, était transportée sur notre planète, elle jetterait une lumière égale à celle de 12,000 bougies.

Pour comparer l'éclairage des bougies ou des lampes, à la flamme du gaz provenant du charbon de terre ou de l'huile, la forme que l'on doit préférer pour le photomètre, est celle que représente la figure 238. Elle consiste à garnir l'instrument, par devant et par derrière, de deux lames minces et larges de mica, placées parallèlement entre elles, et à une distance d'environ 6 lignes (1).

Hygromètre.

Cet instrument, d'un usage perpétuel, est consacré à mesurer la sécheresse de l'atmosphère, et par conséquent l'humidité, qui en est l'opposé. Ce n'est encore qu'une simple modification du thermomètre différentiel. La boule qui contient le liquide coloré doit être garnie de plusieurs enveloppes de papier de soie, et mouillées d'eau pure. L'abaissement de la colonne liquide, dans le tube opposé, indiquant la diminution de température occasionée par la formation de la vapeur, aux dépens du liquide

(1) M. Leslie se propose de publier, incessamment, une série d'expériences relatives à ce sujet. (*Note du trad.*)

répandu autour de la boule, exprimera la sécheresse relative de l'air ambiant. Néanmoins, comme ce principe n'a pas été encore bien compris, il convient d'examiner plus rigoureusement la manière dont se comporte l'évaporation.

Quand l'eau passe à l'état de vapeur, elle augmente de volume et absorbe une quantité considérable de calorique; par conséquent, un corps mouillé à sa surface se refroidit généralement quand il est exposé au contact de l'air. Mais l'abaissement de température atteint bientôt une certaine limite où elle reste stationnaire, quoique l'évaporation continue avec une égale activité. Le même milieu qui reçoit la vapeur, doit fournir aussi la portion de chaleur demandée pour la formation continue de la vapeur; en effet, après que la surface humide a été refroidie, chaque portion de l'air ambiant qui vient à la toucher doit également être refroidie, jusqu'à ce qu'elle soit arrivée au même degré, et par conséquent communiquer son excès de chaleur, ou la différence entre le premier et le second état du milieu, qui entretient la vaporisation, différence évidemment proportionnelle à la perte de température qu'a éprouvée celui-ci. La communication de chaleur à la surface en contact, a lieu en même temps que la soustraction de calorique produite par l'évaporation, et arrive promptement à un même degré d'intensité, après quoi l'équilibre s'établit, et le froid produit persiste sans la moindre altération. Une circulation rapide du milieu évaporant, peut hâter l'effet de ces causes; mais aussi long-temps qu'il possède le même pouvoir desséchant, il ne peut, en aucune manière, modifier la température. La chaleur communiquée par l'air à la surface humide, et indiquée par l'hygromètre, devient par là une mesure exacte de la quantité de chaleur em-

*Corrections de l'Hygromètre, et de la situation du point de saturation pour
différents degrés du thermomètre centigrade.*

0°.			1°.		2°.		3°.		4°.		5°.	
Hygromètre.	Sécheresse.	Point de Saturation.	Sécheresse.	Point de Saturation.	Sécheresse.	Point de Saturation.	Sécheresse.	Point de Saturation.	Sécheresse.	Point de Saturation.	Sécheresse.	Point de Saturation.
10	14	- 3.4	15	- 2.3	15	- 1.2	15	- 0.0	15	1.0	16	2.1
20	28	- 7.2	29	- 6.1	30	- 4.8	30	- 3.6	31	- 2.3	31	- 1.1
30	43	- 12.2	43	- 10.6	44	- 9.1	45	- 7.7	46	- 6.3	46	- 4.9
40	57	- 18.2	58	- 16.3	59	- 14.5	59	- 12.7	60	- 11.0	61	- 9.4
6°.			7°.		8°.		9°.		10°.		11°.	
10	16	3.1	16	4.0	16	5.4	17	6.5	17	7.5	18	8.6
20	52	0.0	32	1.5	53	2.4	53	3.6	54	4.8	55	5.9
30	47	- 5.3	48	- 2.2	49	- 0.9	50	0.4	56	1.7	52	3.0
40	62	- 7.8	63	- 6.5	64	- 4.7	66	- 3.3	67	- 1.8	68	- 0.4
50	75	- 13.0	79	- 11.1	80	- 9.4	81	- 7.6	85	- 5.9	84	- 4.3
12°.			13°.		14°.		15°.		16°.		17°.	
10	18	9.6	18	10.7	19	11.8	18	12.7	20	13.9	20	15.0
20	35	7.1	36	8.2	37	9.4	36	10.5	39	11.6	39	12.7
30	52	4.3	54	5.5	55	6.7	54	7.9	57	6.1	58	10.2
40	69	1.0	71	2.4	72	3.7	71	5.0	75	6.4	77	7.6
50	86	- 1.7	88	- 1.1	89	0.4	99	1.8	93	3.3	95	4.7
60	102	- 7.1	104	- 7.4	106	- 3.7	108	- 1.8	111	- 0.2	113	1.3
70	118	- 12.7	120	- 10.3	123	- 8.3	125	- 6.3	128	- 4.5	131	- 2.6
18°.			19°.		20°.		21°.		22°.		23°.	
10	20	16.0	21	17.0	21	18.1	22	19.1	22	20.1	23	21.2
20	40	13.8	41	14.9	42	16.0	43	17.1	44	18.2	46	19.3
30	60	11.5	61	12.7	63	13.8	64	15.0	66	16.1	68	17.0
40	79	8.9	81	10.2	85	11.4	84	12.8	87	13.9	89	15.0
50	97	6.0	100	7.4	102	8.8	104	10.1	107	11.4	110	12.7
60	116	2.8	118	4.4	121	6.1	124	7.4	127	8.7	130	10.2
70	134	- 0.8	136	0.9	140	2.5	143	4.1	146	5.7	150	7.2
80	151	- 5.2	154	- 3.2	158	- 1.3	162	0.5	165	2.2	169	4.0
90	168	- 10.5	172	- 8.1	176	5.9	180	- 3.8	184	- 1.8	188	0.2
24°.			25°.		26°.		27°.		28°.		29°.	
10	24	22.2	24	23.5	25	24.5	26	25.3	26	26.4	27	27.4
20	47	20.4	48	21.4	49	22.5	51	23.6	52	24.7	54	25.7
30	69	18.4	71	19.5	73	20.6	75	21.7	77	22.5	79	24.0
40	91	16.2	94	17.4	96	18.6	99	19.8	102	21.0	104	22.1
50	112	13.9	116	15.2	118	16.5	122	17.7	125	18.9	129	20.1
60	133	11.5	137	12.3	141	14.1	144	15.4	148	16.7	152	18.0
70	154	8.7	153	10.1	162	11.6	166	13.0	171	14.3	175	15.7
80	174	5.6	178	7.2	183	8.7	188	10.3	193	11.7	198	13.2
90	193	2.0	198	3.9	203	5.6	209	7.2	214	8.9	220	10.4
100	212	- 2.0	218	0.0	223	2.0	229	3.8	235	5.6	241	7.4
110	231	- 7.0	237	- 4.5	242	- 2.3	249	- 0.1	255	2.0	262	3.9
120	249	- 10.2	255	- 10.3	261	- 7.4	268	- 4.8	275	- 2.5	282	- 0.1

ployée à vaporiser la portion d'humidité exigée pour que cet air arrive, par la saturation, à sa plus basse température.

L'hygromètre a deux formes distinctes, l'une qui permet de le transporter, l'autre qui le rend stationnaire. La première de ces dispositions consiste à placer les deux boules sur une même ligne verticale, et à protéger l'instrument par un étui de bois ou de métal, dans lequel il est fixé de manière à être porté dans la poche; deux ou trois gouttes d'eau pure sont appliquées, au moyen d'une barbe de plume ou d'un pinceau de cheveux, à la surface de la boule ainsi garnie, et l'instrument est maintenu exactement dans cette position verticale, toutes les fois que l'on veut s'en servir (*voy. Fig. 242*). On peut mettre bien plus d'exactitude dans la disposition de l'hygromètre stationnaire. Les boules sont placées à la même hauteur, et en sens opposé. Celle qui est couverte, après avoir été une fois mouillée, reste constamment humide, au moyen de quelques fils de soie écrue ou cocons (1), qui arrivent d'un côté sur la boule, tandis que l'autre extrémité plonge dans un grand flacon placé à quelques pouces de distance, rempli d'eau distillée, et garni d'un bouchon qui laisse ouvert un petit bec saillant par où passe le liquide (*voyez Fig. 241*) (2).

(1) Le lecteur sentira que, dans cet appareil, le liquide arrive à la boule de l'hygromètre par l'intermédiaire des fils de soie, dont la réunion forme des tubes capillaires qui jouent le rôle de siphons. (*Note du trad.*)

(2) Fig. 243. *Hygroscope*. Le petit réservoir pyramidal d'ivoire tourné, et qui porte un tube de verre d'un large diamètre, est rempli de mercure : quand l'atmosphère devient plus sèche, cette boule d'ivoire, en perdant son humidité, se con-

Les deux boules de l'hygromètre doivent avoir à peu près la même couleur et la même opacité, afin d'éloigner l'influence des phénomènes photométriques, ou prévenir tout autre dérangement que pourrait occasioner l'action de la lumière. La boule nue est formée de verre rouge, vert ou bleu, et celle qui est garnie de papier est, extérieurement, recouverte d'une soie légère, dont la nuance claire prend une teinte plus foncée lorsqu'elle est mouillée.

L'état d'humidité de l'atmosphère est extrêmement variable. Dans notre climat, l'hygromètre marque, en hiver, des degrés de sécheresse qui varient de 5 à 25; mais pendant les mois de l'été il oscille généralement entre 15 et 55, et pendant certains jours il peut même monter à 80 ou 90. Dans le continent de l'Europe (1), il conserve une plus grande élévation; et dans les hautes-Indes (intérieur des Grandes Indes), il s'est fréquemment tenu à 160°.

Quand l'indication hygrométrique n'excède pas 15°, nous sommes conduits par nos sensations à dire que l'air est humide; de 30 à 40°, nous commen-

tracte et fait remonter le mercure dans le tube, et indique la variation sur une échelle fixée à l'instrument et divisée en degrés, dont chacun est un millième du volume total. La graduation différente, placée sur l'autre côté du tube, indique la correspondance de cet instrument avec l'hygromètre exact. Cet instrument agit très lentement, et n'est guère transportable.

(1) Il faut songer que M. Leslie parle de la Grande-Bretagne qui est bien en Europe, mais qui n'est point du continent, et dont le climat insulaire est très différent de celui de plusieurs contrées qui semblent dans les mêmes circonstances. (*Note du trad.*)

cons à le qualifier de sec ; de 50 à 60 , la sécheresse nous semble grande ; depuis 70 , et au-delà , elle est considérable. On ne peut trouver ni commode , ni salubre peut-être , un lieu où il y a moins de 30° de sécheresse ; mais l'atmosphère d'un appartement chaud et habitée en aura communément au-delà de 50.

Par les temps de gelée , la boule garnie se recouvrira de glace ; mais l'usage de l'hygromètre ne sera pas interrompu. L'évaporation , alors complexe , de l'enveloppe congelée augmentera même d'environ un septième l'abaissement du liquide qu'occasionerait la simple évaporation d'une surface purement humide.

L'hygromètre n'indique pas seulement la sécheresse relative de l'atmosphère , il fournit aussi les données nécessaires à la détermination de la quantité absolue d'humidité qu'il est capable d'absorber , en un temps quelconque , dans la formation de la vapeur , de la même manière que la quantité de calorique soustrait élève à un degré millésimal un poids d'eau égal à 6,000 fois celui de l'eau vaporisée ; et puisque , d'autre part , la capacité de l'air pour le calorique n'est guère que de $\frac{3}{10}$ de celle de l'eau , la même quantité de chaleur communiquerait une semblable élévation de température à une masse d'air 20,000 fois aussi pesante que celle de la vapeur. Ainsi , à mesure que l'hygromètre s'abaisse d'un degré , par l'évaporation du liquide , cet abaissement a pour compensation le contact échauffant d'un poids d'air égal à 20,000 fois celui de la vapeur , air dont la masse est saturée par cette union.

Mais la disposition de l'air à recevoir l'humidité augmente rapidement à mesure que la température s'élève. De la combinaison de chacune de ces observations , il résulte que la sécheresse de ce fluide

si variable, est double chaque fois que la température s'élève de 15° centésimaux : ainsi, par exemple, au point de congélation, si l'air est capable de contenir une portion d'humidité représentée par 100° de l'hygromètre, à celle de 15° il en contiendrait 200° ; à celle de 30° , 400 ; à 45° de la même échelle, 800 parties, qui correspondent à la vingt-cinquième partie du poids total. La table suivante montrera la faculté dissolvante de l'air atmosphérique, par degrés de température, depuis 15 jusqu'à 45° .

On peut calculer qu'une masse cube d'air de 40 pouces [ou un peu plus que le mètre des mesures françaises], à la densité ordinaire, pèse 20,000 grains. La table que nous allons donner montre, en grains, le poids de l'humidité qu'un mètre cube d'air est capable de contenir à différentes températures. Ainsi, à 20° , ce qui correspond à 68 de Fahrenheit, cette masse d'air peut recevoir 252 grains d'humidité. Mais si l'on préférerait une échelle de plus vaste dimension, le même nombre exprimerait, en poids de Troie (1), la quantité d'eau nécessaire à la saturation d'une masse parfaitement

(1) La livre de Troie (*Pound Troy*) = 12 onces Troy = 5760 grains Troy, vaut 372 gr., 960. Le poids troy (*Troy weight*) s'emploie en Angleterre pour les marchandises et les objets dont le prix exige une grande précision dans les pesées. Les pharmaciens font usage de la livre et de l'once de Troy, pour le débit des drogues. Leur poids (*Apothecary weight*) ne diffère du *Troy-weight* que par le plus grand nombre de sous-divisions. Leur once Troy se divise en 8 *drams* ou 24 *scrupules* ou 480 grains Troy. Ainsi leur *scrupule* = 20 grains Troy = 1 gr., 295 et leur *dram* = 3 gr.; 884. (*Note du trad.*)

sèche d'air constituant un cube de 20 verges (1) en tous sens.

Quantité d'humidité contenue dans l'air atmosphérique à différentes températures du thermomètre centigrade.

Température.	Humidité.	Température.	Humidité.	Température.	Humidité.	Température.	Humidité.
—15 ^o .	50.0	0 ^o .	100.0	15 ^o .	200.0	30 ^o .	400.0
—14	52.4	1	104.7	16	209.5	31	418.9
—13	54.9	2	109.7	17	219.4	32	438.7
—12	57.4	3	114.9	18	229.7	33	459.3
—11	60.1	4	120.3	19	240.6	34	481.2
—10	63.0	5	126.0	20	252.0	35	504.0
—9	66.0	6	132.6	21	263.9	36	527.8
—8	69.1	7	138.2	22	276.4	37	552.8
—7	72.4	8	144.7	23	289.5	38	578.9
—6	75.8	9	151.6	24	303.1	39	606.3
—5	79.4	10	158.7	25	317.5	40	635.0
—4	83.1	11	166.2	26	332.3	41	665.0
—3	87.1	12	174.1	27	348.2	42	696.4
—2	91.2	13	182.3	28	364.7	43	729.4
—1	95.5	14	191.1	29	381.9	44	763.8

Cette table confirme l'ingénieuse théorie de la pluie, proposée par feu le docteur James Hutton, qui attribue la déposition de l'humidité dans l'atmosphère au mélange de couches inégalement échauffées. Soient deux mètres cubes d'air humide à des températures de 18 et 26° mélangés ensemble,

(1) La verge est de trois pieds anglais. (*Note du trad.*)

ils produiront séparément, l'un 229,7 grains, et l'autre 352,3 grains d'humidité, ou l'un dans l'autre 251,1 grains. Mais à la température moyenne, qui est de 22°, le cube métrique d'air ne contiendrait plus que 276,4 grains, et devrait conséquemment déposer, sous forme de brouillard ou de pluie, l'excès d'humidité qui serait de 4,7 grains.

Par conséquent, pour produire un effet complet, il est nécessaire de mettre en contact deux volumes considérables de fluide dans un même lieu et en un temps donné. Nous n'avons qu'à supposer l'effet réciproque d'un courant froid sur un courant chaud d'air humide, qui marchent en sens opposés, et qui se mélangent continuellement en changeant leur surface de contact.

On doit être étonné de la petite quantité de particules aqueuses qui est suspendue dans l'atmosphère en certains temps. En fixant par le calcul à 19° la température à la surface du globe, l'air pourrait ne contenir que 240,6 parties d'humidité pour 20,000 fois son poids total. Or ce poids est à peu près le même que celui d'une colonne d'eau de 400 pouces de hauteur; et par conséquent si l'atmosphère étant saturé d'humidité, s'en déchargait entièrement, il formerait une couche de 4 pouces 812, ou bien un peu moins de 5 pouces d'épaisseur. Pour fournir une quantité suffisante de pluie, il était nécessaire que pendant tout le cours de l'année, l'air fût susceptible de passages fréquents de la sécheresse à l'humidité.

Il est évident, d'après la théorie de l'hygromètre, que cet instrument n'indique que la sécheresse de l'air, ambiant au degré de chaleur qu'accuse la boule humide. Pour trouver la vraie sécheresse de l'atmosphère, il faut opérer une correction pour la plus grande force absorbante de la température

actuelle. Ainsi, supposons que le thermomètre se tienne à 16° , tandis que l'hygromètre en marque 30, l'air aurait cette mesure de sécheresse à la température de 13° , qui est celle de la surface humide : conséquemment, si l'air, après le contact, était élevé à sa température antérieure, la sécheresse augmenterait de 27° ou de l'excès de 209,5 sur 182,3. On peut tirer aussi une autre conclusion : c'est que l'air, à cet état, contient 152,3 parties d'humidité ; ce qui, d'après la table, est l'étendue du pouvoir vaporisant, à la température de 9° 1. Refroidi à cette limite, il deviendrait parfaitement humide, et humecterait toutes les substances exposées à son contact. Ce point, qui marque d'une manière si frappante la qualité de l'air, a été quelquefois appelé *Point de la rosée* (*Dewing point*, point rosée). J'ai, d'après cela, calculé une table pour la correction des indications données par l'hygromètre, en constatant les points correspondants de l'humidité absolue pour différents degrés de température.

(*Voyez le tableau pag. 469*).

L'usage de cette table est facile. Par exemple, si à une température de 21° l'hygromètre marquait 70, la correction serait de 142,9 qui indique le nombre de grains d'eau qu'un mètre cube d'air demanderait pour être complètement saturé ; mais le même air serait également saturé d'humidité si la température était abaissée à 4° , 1.

L'hygromètre est un instrument d'une grande utilité, non-seulement pour les observations-météorologiques, mais encore dans l'économie domestique. En donnant le moyen de régler les procédés des arts, et de diriger les choix que l'on doit faire dans certaines espèces de produits, il donnera, par exemple, l'humidité d'un appartement, les conditions que doivent posséder un magasin, un hô-

pital, ou une infirmerie. Beaucoup de maisons de commerce demandent à être maintenues à un certain degré de sécheresse qui dépend du but qu'on se propose. L'impression du lin et du coton doit être établie dans des emplacements très secs; mais les filatures et les ateliers de tisserands réussissent mieux dans les lieux où l'air incline vers l'humidité. Le manufacturier se borne aujourd'hui, pour se laisser complètement guider, à l'observation des effets causés par les poëles, et de là il résulte souvent que ses produits sont ou détériorés ou endommagés avant qu'il se soit aperçu du changement survenu dans l'état de l'atmosphère. La laine et les grains peuvent augmenter de 10 à 15 pour cent de poids par la présence de l'humidité. Or, on constaterait exactement et promptement l'état de ces substances, en les plaçant au-dessus d'une petite cage de fil d'archal où serait placé l'hygromètre.

Cet instrument détermine les divers pouvoirs absorbants de substances préalablement desséchées. Non-seulement l'acide sulfurique et les sels déliquescents montrent une grande affinité pour l'humidité de l'air contenu dans un espace, mais aussi la farine, l'argile, et diverses terres et pierres composées, exercent sur elle une attraction qui n'est guère inférieure. Les terrains les plus fertiles paraissent devoir être principalement distingués par leurs qualités absorbantes.

C'est l'hygromètre qui a conduit à la découverte d'un moyen très efficace de congélation artificielle. Comme la raréfaction augmente le volume de l'air, elle augmente aussi sa disposition à contenir plus d'humidité, à mesure que la pression diminue, et par conséquent facilite l'expansion de la matière liquide, ainsi que sa conversion en vapeur. D'après cela, si l'hygromètre est suspendu sous un large ré-

cipient où l'on fait rapidement le vide, il baissera promptement. En été, le surcroît de sécheresse ainsi produite s'élève à environ 50° , chaque fois que l'air a été raréfié de moitié; de telle sorte que, supposant que l'on fasse rapidement le vide et que l'on réduise l'air à un soixante-quatrième, l'abaissement de l'hygromètre ne sera, en définitive, que de 30° . Mais cet effet est momentané, car l'air raréfié se sature bientôt des vapeurs qui émanent de la surface de la boule humide.

Nous devons donc être portés à croire que les régions les plus élevées de l'atmosphère doivent être comparativement plus sèches que celles qui touchent le sol; ou qu'à température égale le fluide raréfié est capable de contenir une plus grande quantité relative d'humidité (1). Ainsi, sur les flancs du Chimboração, si l'on place un hygromètre dans une tente où l'air a été élevé à la température qui règne sur les rivages de Lima, il se tiendra à 40° au-dessus du point où on l'observerait au niveau des mers. Sans une telle disposition des éléments, il est certain que notre sol serait plongé dans des ténèbres éternelles; car le froid qui règne dans les couches supérieures aurait empêché l'humidité de parvenir à cette grande hauteur, et l'aurait condensée en nuages ou brouillards.

L'augmentation du pouvoir dissolvant de matières aqueuses que l'air peut acquérir à mesure qu'il

(1) Alphonse Leroy et quelques autres physiciens ont montré que la quantité de vapeurs qui peut se former dans un espace donné, est la même, soit que le vide ait été fait dans cet espace, soit que l'air y ait été laissé, et que la seule différence qui existait alors, consistait dans la lenteur de la vaporisation à laquelle l'air apportait un obstacle. (*Note du trad.*)

se raréfie étant bien constatée, le premier objet d'examen était de combiner l'action d'un puissant absorbant avec la sécheresse passagère produite par la raréfaction sous le récipient d'une machine pneumatique. Après avoir introduit une large surface d'acide sulfurique sous le récipient, on a trouvé que cette substance ajoutait son attraction particulière pour l'humidité aux effets résultant des progrès du vide; et, ce qui est encore plus important, on l'a vue continuer à maintenir, avec une énergie à peu près égale, la sécheresse que l'on avait d'abord déterminée. L'air raréfié ne pouvait plus, comme précédemment, se charger d'humidité de plus en plus; mais chaque portion de ce milieu, à mesure qu'il devient saturé en touchant la boule humide de l'hygromètre, transportait sa vapeur à l'acide, cédait son humidité et redevenait propre à s'emparer d'une nouvelle quantité de liquide. Par ce retour perpétuel de vaporisation et d'absorption, la quantité restante d'air était constamment maintenue au même degré de sécheresse. La chaleur est donc soustraite proportionnellement à l'augmentation d'intensité de l'évaporation. Si l'air est raréfié à $\frac{3}{10}$, l'abaissement de température sera porté de 80 à 100 de l'échelle du thermomètre Fahrenheit. Mais si la raréfaction est poussée au deux cent cinquantième, dernier degré peut-être que l'on puisse atteindre dans de telles circonstances, la surface d'évaporation serait abaissée de 120° en hiver et de 200 en été.

Nous pouvons, par conséquent, aux époques les plus chaudes et dans toutes les contrées du globe, geler une masse d'eau et la maintenir dans l'état de congélation jusqu'à ce qu'elle s'épuise totalement par une évaporation graduelle, invisible, mais permanente. La seule condition requise est que la sur-

face de l'acide ait une grande dimension , et qu'elle soit placée très près de l'eau ; car autrement l'humidité, s'exhalant en quantité trop grande pour être absorbée , la sécheresse du milieu raréfié se rapprocherait trop de la saturation , et sa force d'évaporation diminuerait essentiellement. L'acide doit être versé en couche d'un demi-pouce d'épaisseur ou davantage dans une soucoupe large et plate , que couvre un récipient de forme hémisphérique ; l'eau exposée à la congélation doit être contenue dans une autre soucoupe de terre poreuse , qui n'excède pas la moitié de la largeur de la première , et qui est soutenue par un léger support de porcelaine.

La congélation artificielle s'opère toujours en grand avec bien plus de facilité : deux ou trois minutes suffiront pour se procurer le vide complet ; après quoi l'évaporation et l'absorption produiront graduellement leurs effets principaux. On accélérera un peu le procédé , et la glace obtenue sera plus solide et plus transparente , si l'eau a été primitivement purgée d'air par l'ébullition et renfermée dans un flacon bouché hermétiquement. La diminution qu'éprouve l'eau pendant qu'elle se convertit en glace est extrêmement petite , puisque rarement elle atteint le cinquantième du volume total. Une livre d'acide sulfurique peut , en servant plusieurs fois aux mêmes expériences , effectuer la congélation de deux fois son poids d'eau , avant qu'il soit imbibé d'un volume d'eau à peu près égal au sien , et qu'il ait perdu , par cette combinaison , la huitième partie de son pouvoir réfrigérant.

Outre l'acide sulfurique , d'autres substances peuvent être aussi employées à produire l'absorption indispensable dans cette expérience. Le muriate de chaux atteint parfaitement ce but ; mais la farine

d'avoine desséchée offre beaucoup d'avantages, et quoiqu'elle ne puisse être employée à plus de deux opérations de suite, elle peut aisément être ramenée à son énergie primitive par une dessiccation totale en présence d'un feu ardent, ou même par l'exposition aux rayons d'un soleil très chaud. La congélation est causée par une sorte de distillation aérienne et invisible. La vapeur exhalée de la surface de l'eau est portée sur le corps absorbant dont la surface doit être, ainsi que nous l'avons dit, la plus grande possible, et où elle se condense en abandonnant son excès de chaleur. Tout le procédé consiste donc à transporter incessamment la chaleur de la soucoupe qui contient l'eau au bassin qui reçoit le corps absorbant. Lorsque la glace a été formée, le transport de sa chaleur se maintient toujours, et la masse de glace devient encore plus froide, tandis que l'acide ou la farine d'avoine acquiert une température supérieure à celle de l'atmosphère du récipient.

Atmomètre.

Cet instrument est continuellement employé, et il pourrait, si l'on y apportait quelque attention, remplacer l'hygromètre. Il n'indique point la sécheresse de l'air; mais, ainsi que le marque son nom, il mesure la quantité de vapeur que laisse échapper une surface humide pendant un certain laps de temps.

L'atmomètre consiste en une boule de terre poreuse dont on fait la poterie, et d'un diamètre de deux à trois pouces, surmonté d'un tube étroit qui est fixé à une espèce de petit col pratiqué à cette boule. Le tube porte des divisions dont chacune contient la quantité de liquide nécessaire pour re-

couvrir la surface extérieure de la boule d'une couche d'eau qui aurait un millième de pouce d'épaisseur (Fig. 244).

Les divisions sont déterminées par un calcul très facile à faire. Elles sont comptées de haut en bas, et de 100 à 200 degrés. A l'extrémité du tube est ajusté un collier de cuir, sur lequel on visse un petit chapeau de cuivre lorsqu'on a rempli l'appareil d'eau. Pour mettre l'instrument en observation, on essuie l'humidité qui pourrait être répandue sur la surface de la boule, et on le fixe ensuite au dehors des appartements et dans un lieu où il puisse avoir le libre contact de l'air. Dans ces circonstances, l'humidité transsude à travers la boule poreuse, en quantité exactement égale à celle qui peut être évaporée; et cette diminution est mesurée par le moyen du tube où l'eau descend d'une quantité proportionnelle.

Si la boule de l'atmomètre est à l'abri de l'agitation du vent, les indications seront proportionnelles à la sécheresse de l'air pour la température de la surface humide qui est au-dessous de celle de l'air; et la quantité du liquide évaporé par heure étant exprimée en millièmes de pouce, donne, quand on les multiplie par 20, la mesure hygrométrique : par exemple, dans ce climat, la sécheresse moyenne étant évaluée à 15° en hiver et à 40° pendant l'été, l'exhalation journalière dans un lieu abrité pendant l'hiver, doit former une couche de 0,018, et pendant l'été de 0,048 dixièmes de pouce. Supposons un marais qui puisse alimenter un canal navigable dont la surface serait égale à 10 acres anglais, et que l'atmomètre s'abaisse de 80° en vingt-quatre heures, la quantité d'eau évaporée pendant ce temps sera de $\frac{80}{100} \times 660 \times 66 \times 10$ ou, 2904 pieds cubes, qui correspondent au poids de quatre-vingt-une tonnes,

La dissipation de l'humidité est beaucoup accélérée par l'action des vents, qui l'augmentent quelquefois de cinq et quelquefois de dix parties.

En général, l'augmentation est proportionnelle, comme dans le cas du refroidissement, à la vitesse du vent. L'action de l'air tranquille est évaluée égale à l'effet produit par une vitesse de huit milles par heure. Par ce moyen, on peut aisément se faire des idées exactes sur la vitesse du vent, sur-tout en comparant les indications de l'hygromètre avec l'atmomètre, ou les indications de l'atmomètre abrité avec celles d'un atmomètre exposé aux courants d'air. Supposons que l'hygromètre marque quarante degrés, ou que la colonne d'eau, dans un atmomètre abrité, s'abaisse de deux divisions en une heure, tandis qu'un autre atmomètre exposé aux courants subirait un abaissement de douze divisions; alors comme 2 est à 10 (effet additionnel du vent), de même 8 est à 40 milles, espace qu'il a parcouru pendant ce temps.

L'atmomètre est évidemment d'une grande utilité dans la pratique. Déterminer avec soin et promptement la quantité d'évaporation produite sur une surface pendant un temps donné, est une connaissance importante, non-seulement en météorologie, mais encore en agriculture et dans les arts. L'évaluation de la vaporisation qui se produit à la surface du sol est d'une importance presque égale à celle de la connaissance de la pluie qui tombe, et serait d'un grand avantage aux fermiers pour les diriger dans leurs opérations. De la dispersion rapide de l'humidité dépend la bonne construction des séchoirs, qui trop souvent sont bâtis sans habileté et d'après des principes erronés.

Æthrioscope.

Cet instrument est le dernier et le plus curieux de ceux qui peuvent étendre nos connaissances météorologiques. Son nom dérive du mot grec qui signifie *sérénité, fraîcheur*, idées qui s'unissaient intimement dans l'esprit des anciens poètes. L'æthrioscope exposé en plein air indique les impressions variables de fraîcheur qui sont, dans tous les temps, envoyées des régions supérieures de l'atmosphère vers la surface du globe ; ce n'est qu'une modification très légère du pyroscope, que l'on a préservé de l'influence de la lumière et de l'agitation des vents. Le simple pyroscope, en effet, abrité des rayons solaires, exposé dans une atmosphère sans nuage, et pendant un temps calme, indiquera les impressions de fraîcheur en s'élevant de 5 à 10 degrés millésimaux. Mais ces indications ne peuvent être satisfaisantes tant qu'elles sont affectées de l'influence de la lumière et de l'action perturbatrice des vents. L'action de cet instrument peut être augmentée et rendue plus sûre en y ajoutant, sous la boule *sensible*, une petite coupe hémisphérique de métal. Et de là à la métamorphose complète du pyroscope, il n'y a plus qu'un pas.

Les deux causes perturbatrices provenant de la lumière ou du vent, sont exclues ou prévenues en adaptant le pyroscope à la cavité d'une coupe métallique polie et de forme sphéroïdale allongée, dont le grand axe est vertical et dont le foyer inférieur est occupé par la boule sensible, tandis que la section d'un plan horizontal passant par le foyer supérieur, détermine l'orifice (Fig. 247). La coupe est de laitou ou d'argent martelé ou fondu, et ensuite

tourné et poli. Son diamètre est d'environ quatre pouces, et l'excentricité de la figure elliptique varie entre certaines limites, selon les circonstances. Les dimensions les plus avantageuses sont celles où l'excentricité est égale à la moitié du petit axe ; ce qui doit conséquemment placer le foyer au tiers de la hauteur totale de la cavité, le diamètre de la boule sensible étant également situé vers le tiers de cette hauteur, mais en partant de l'orifice de la coupe. Pour séparer par un espace plus considérable les deux boules du pyroscope, celle qui est dorée peut être élevée un peu au-dessus de l'autre et logée dans le renflement de la cavité. Son tube étant courbé, et le col en partie élargi pour prévenir le danger de diviser la liqueur colorée pendant le transport de l'instrument, on met sur l'orifice de l'æthrioscope un couvercle de même métal, poli comme la coupe elle-même, et qui n'est enlevé qu'à l'instant où l'on va commencer l'expérience. L'échelle peut s'étendre de 90 ou 100° au-dessus de zéro, 10 ou 15° au-dessous.

Cet instrument, exposé en plein air pendant un temps serein, indiquera à chaque instant, soit de la nuit, soit du jour, l'impression du froid que nous envoient les régions supérieures. Ces effets varient extrêmement. Ils sont à leur maximum lorsque le ciel est d'un bleu d'azur très pur ; ils diminuent à mesure que l'atmosphère se charge de nuages, et ils sont à leur minimum lorsque les brouillards se rapprochent de la surface terrestre. Dans de telles circonstances, les impressions frigorifiques sont généralement un peu plus grandes pendant le jour que pendant la nuit, et considérablement plus puissantes pendant l'été que pendant l'hiver. Certains vents qui soufflent à des hauteurs différentes, sembleraient aussi devoir en modifier les résultats.

L'æthrioscope est réduit à sa plus petite dimension quand il est réuni au thermomètre différentiel vertical (Fig. 248). Aucune des boules de verre dans ce cas n'a besoin d'être dorée ; mais l'inférieure, qui peut avoir des dimensions bien plus considérables, est renfermée dans une sphère creuse de cuivre, composée de deux pièces qui se vissent ensemble, tandis que la boule supérieure occupe le foyer de la coupe, qui n'a pas besoin d'excéder deux pouces de largeur. La sensibilité de cet instrument est étonnante, car la liqueur s'abaisse et s'élève dans le tube chaque fois qu'il passe un nuage pendant un temps pur et clair. L'æthrioscope indiquera rarement une impression frigorifique de moins de 30 ou de plus de 80° millésimaux. Si le ciel se recouvre de nuages, les effets peuvent être réduits à 15°, et même à 5°, quand les vapeurs sont rassemblées au-dessus d'un pays montueux. Il y a cependant quelques variations apparentes. J'ai remarqué plus d'une fois que, sur l'approche du soir, pendant un temps froid et clair, tandis que l'atmosphère devient en même temps obscurcie par la présence d'une fumée épaisse et noire, la liqueur colorée monte instantanément de 25 à 35°, où elle se maintient jusqu'à ce que cette masse noire soit dissipée. La couche de matière fuligineuse a sans doute absorbé les impressions frigorifiques émanées des cieux. Cette fumée se précipitant par son propre poids, doit apporter, des régions supérieures, un froid intense, et conséquemment envoyer des impressions nouvelles qui deviennent d'autant plus puissantes que leur source est plus proche.

En replaçant à un instant quelconque le couvercle de métal sur l'æthrioscope, l'effet est entièrement éteint, et le fluide du thermomètre différentiel descend à zéro. Le moindre papier ou la plus

légère pellicule de substance animale diminue l'action exactement de moitié. Un couvercle de carton remplit d'abord le même office qu'un écran parfait; mais après que sa surface supérieure a été refroidie par l'aspect des cieux, il excite à son tour une légère influence secondaire sur la boule sensible, où le liquide ne monte malgré tout qu'à peine au dixième de l'élevation qu'il atteindrait s'il n'était pas recouvert. Cette diminution d'effet est occasionnée par la différence de température qui existe entre les deux surfaces du carton, à travers la substance molle duquel pénètrent lentement les additions successives de froid. Cette expérience nous a suggéré une méthode élégante de déterminer rigoureusement le degré de conductibilité de différents corps, en comparant les résultats fournis par des couvercles de différentes matières qui avaient la même épaisseur, et qui de plus étaient également vernis des deux côtés.

Pour déterminer si les *ondulations* du froid sont poussées obliquement aussi bien que verticalement, l'æthrioscope peut être construit de manière à être tourné vers tous les points du ciel. Un segment de sphéroïde d'une grande excentricité, et dont l'un des diamètres est de 9 pouces et l'autre de 6, est adapté pour réflecteur; une longue échancrure pratiquée sur la paroi inférieure de cette grande coupe, qui est ainsi fixé de manière à ce que la boule dorée en soit séparée, et que la boule sensible reste toujours au foyer à un pouce de distance du fond de la cavité, tandis que l'axe du sphéroïde pourrait, au moyen d'écrous agissant sur le limbe d'un cadran, être élevé ou abaissé à volonté (Fig. 249). Dans cette construction, l'effet était spécialement produit par l'impression directe; car les ondes latérales frappant moins obliquement sur la cavité du sphéroïde ne sont que faiblement réfléchis.

Cet instrument, que l'on peut appeler *Æthrioscope à secteur*, était placé convenablement en plein air, et quand le ciel, débarrassé de nuages, présentait une teinte de bleu clair. Le sphéroïde étant tourné d'abord en haut, on prenait note de l'effet produit, qui néanmoins restait constant, malgré la dépression de l'axe, jusqu'à ce que la direction de celui-ci fût arrivée aux limites de la sphère d'énergie, ou environ à 20° au-dessus de l'horizon. Le résultat prouve suffisamment que chaque portion du ciel, sous-tendue par un angle visuel donné, nous envoie une égale quantité d'ondes frigorifiques. Il y a encore une autre variété d'æthrioscope, que l'on peut employer à déterminer la théorie de l'instrument; pour cet effet on renverse la coupe métallique dans laquelle on renferme les boules d'un pyroscope pareillement renversé. Cet æthrioscope vertical, placé sur le parquet d'un appartement échauffé, reste à zéro; mais à quelques pieds d'élévation, il indiquera une impression sensible de froid, qui pourrait aller à 3 ou 4° , si l'instrument était suspendu près du plafond. Cet effet dépend évidemment de la différence de température entre le parquet et les couches d'air qui se déplacent, et dans lesquelles l'instrument est plongé.

L'impression produite sur l'æthrioscope doit évidemment être la même, soit qu'elle résulte d'une seule série de grandes ondes, ou bien de plusieurs séries de petites ondes: si au lieu d'une seule couche, où l'air est six fois plus chaud que celui de la couche placée immédiatement au-dessus, nous supposons six couches, et que chacune ait sur la précédente seulement un degré en sus de température, l'onde excitée par la première de ces couches intermédiaires, et successivement unie à celles de la deuxième, de la troisième, etc., acquerra en dernière analyse

une énergie égale à celle qu'auraient possédée ou communiquée les six couches à la fois.

Ainsi la surface inférieure de la couche F (Fig. 250) envoie inférieurement des ondes qui augmentent successivement en allant aux surfaces intérieures des couches E D C B A, qui peuvent avoir en définitive la même intensité que si elles résultaient originairement des deux couches extrêmes F et A. Si l'action des ondes excitées dans un petit espace d'air devient aussi apparente, combien ne devons-nous pas nous attendre à trouver plus frappants les effets produits par le mélange des ondes, résultat d'un mouvement complexe dans l'espace libre du vaste corps de l'atmosphère lui-même. En prenant la partie inférieure des couches à une hauteur d'environ deux milles, et qui ne renfermerait qu'un tiers de la masse totale atmosphérique, la différence de température entre les couches extrêmes serait de 20° centésimaux. L'ordre de la série des couches est exactement l'inverse de celle qui a lieu dans un espace fermé, puisque l'air des régions supérieures est constamment plus froid qu'à la surface de la terre. Comme les couches les plus élevées de l'atmosphère envoient en bas des ondes de froid, les couches inférieures doivent, à leur tour, projeter également des ondes vers les parties supérieures. L'athrioscope peut être employé à les évaluer quand on le renverse. Transporté au sommet d'une montagne, et dirigé vers les plaines inférieures, il indiquerait une impression notable de chaleur qui serait à peu près proportionnelle à la quantité dont on s'élève. Sur la cime du Chimboração, cet instrument indiquerait probablement une impression de 20° millésimaux. Cette forme de l'athrioscope découvre également la quantité et l'intensité des ondes émises par la terre. Celles-ci sont généralement très faibles, et excèdent rarement

3 ou 4° dans les climats que nous habitons. Dans un beau jour, à mesure que le soleil avance au-dessus de l'horizon, comme la surface de la terre devient plus chaude que l'air supérieur, elle donne lieu à des ondes chaudes; mais l'effet diminue graduellement à mesure que le soleil décline, et semble acquérir une nouvelle énergie en sens contraire, après que la terre est devenue relativement plus froide.

Le même instrument fut suspendu quelques pieds au-dessus du gazon un jour que le ciel était clair et de couleur d'azur; une coupe d'argent était placée au-dessous; l'impression réfléchie du froid le fit descendre à 25°; mais en interposant une lame de verre, il ne marquait plus que 2°; et en l'éloignant et plaçant une couche d'eau sur l'argent, l'effet était complètement détruit. L'influence absorbante de l'eau, et conséquemment des nuages qui consistent purement en particules aqueuses, était ainsi montrée distinctement.

La nature et l'intensité des ondes froides et chaudes, excitées dans diverses couches de l'atmosphère, seront facilement comprises par l'inspection de la figure (Fig. 251). Supposons deux cercles égaux et opposés, touchés à leur point de contact par la ligne droite *AB*, qui sépare la couche d'air froid de la couche d'air chaud, tandis que les diamètres opposés *CD* et *Cd* représentent la force des ondes de froid envoyées perpendiculairement en bas, et des ondes de chaleur qui vont en sens contraire, les cordes *CF*, *CE*, *CH*, et *CG*, et les autres cordes *Cf*, *Ce*, *Ch*, *Cg*, représenteront également la force des ondes qui seront transmises selon diverses obliquités.

Quand toutes les impressions frigorifiques émises par les couches supérieures sont interceptées par le

vaste pavillon des nuages, l'æthroscope n'est affecté que de la gradation partielle de froid à travers le lit inférieur de l'air, ou de la différence de température entre le sol et l'écran humide, différence qui doit être à peu près proportionnelle à son élévation. Cet instrument pourrait par conséquent être convenablement employé dans l'estimation de la hauteur d'une suite de nuées au-dessus de la surface de la terre.

Les ondes de froid lancées de la vaste étendue des cieux contribuent matériellement à la formation de la rosée qui se rassemble en grande quantité dans les endroits les moins abrités pendant un temps clair et calme. De là, dans les régions du tropique, le danger de dormir en plein air, quoique l'ombre d'une feuille de palmier apporte une protection suffisante. L'eau est souvent froide et même gelée en Egypte et dans les Indes, parce que l'influence céleste, qui est très froide, se joint au pouvoir vaporisant d'une atmosphère extrêmement sèche.

Ainsi, l'æthroscope offre de nouvelles scènes à nos regards. Il étend sa sensibilité à travers des espaces indéfinis, et révèle la manière dont se comportent les parties les plus éloignées de l'atmosphère. Construit avec plus de délicatesse encore, peut-être découvrira-t-il les vents éloignés? Peut-être décèlera-t-il la température actuelle de chaque point des cieux? Les impressions de froid qui arrivent du nord sembleront probablement plus fortes que celles que nous recevons du midi.

La composition de ce bas-monde renferme les principes les plus secrets de l'harmonie. Le système équilibré des courants aériens détermine la chaleur de l'équateur au pôle, et depuis le niveau de la mer jusqu'aux parties les plus élevées de l'atmosphère; l'inégale distribution de chaleur est tempérée en

même temps par l'impression vibratoire qu'il conserve à travers le milieu général. La surface de quelques couches d'air qui envoient des ondes chaudes dans une direction, doit évidemment produire des ondes froides de semblable intensité, mais dans une direction opposée. Dans un temps clair, les ondes froides envoyées du ciel vers nous l'emporteront, même pendant les progrès de la chaleur du jour, sur l'influence de la lumière réfléchie que l'on reçoit sur le sol dans un lieu abrité de l'action directe du soleil. De là résulte, dans tous les temps, le froid qu'éprouvent les corps exposés au nord ; de là aussi la fraîcheur qui tempère la nuit dans les climats les plus brûlants sous l'étendue de l'azur qui pare constamment les cieux. Dans nos latitudes septentrionales, un amas de nuées préserve ordinairement la terre des impressions du froid. Sous le cercle arctique, la surface de la terre est plus efficacement protégée par les brouillards perpétuels qui défigurent ces régions horribles, et qui laissent passer les rayons de lumière en même temps qu'ils arrêtent les ondes frigorifiques dardées des régions les plus élevées de l'atmosphère. Les anciens avaient déjà remarqué que les nuits très claires étaient généralement très froides. Pendant l'absence du soleil, les impressions célestes continuent à s'accumuler, et la terre se refroidit excessivement vers le point du jour, au même instant où la lumière reprend son empire. La couche la plus basse de l'air étant refroidie par le contact de la terre, dépose à la surface de celle-ci son humidité, qui est absorbée par elle ou attirée vers les extrémités saillantes des plantes sur lesquelles elle s'établit sous la forme de rosée ou de gelée blanche : c'est pour cela que, dans notre pays, il est utile d'abriter pendant la nuit les fleurs et les fruits contre l'influence d'un ciel glacé ; c'est aussi

pour la même raison qu'il y a de l'avantage à recouvrir les espaliers qui garnissent les murailles des jardins, avec des filets qui interceptent non-seulement les ondes frigorifiques, mais arrêtent encore la formation du givre.

ADDITIONS.

Quelques-uns des instruments ci-dessus décrits, quoique simples dans leur forme et leur construction, demandent pourtant à être exécutés avec autant d'adresse que d'attention. Il faut, pour les rendre plus sensibles et plus exacts, que les tubes soient choisis et examinés avec le plus grand soin, les boules parfaitement proportionnées, les échelles dressées avec précision, et la position des liquides colorés ajustée avec délicatesse. Cet ajustement se fera au moyen d'une petite cavité, ménagée à la jonction des branches opposées, et de petits globules d'air que l'on rassemble dans cet endroit. On les force à monter par la chaleur que l'on communique à l'autre boule en appliquant la main dessus.

L'instrument est placé dans une position inclinée pendant plusieurs jours et même plusieurs semaines, jusqu'à ce que toutes les parcelles du liquide soient redescendues de la boule dans le tube gradué, et que tous les globules soient réunis en une colonne. L'instrument ainsi préparé restera constamment de même tant qu'il sera placé dans la position verticale. Il faudra aussi le tenir vertical quand on voudra le transporter à quelque distance, et l'observateur devra avoir soin d'éviter tout violent dérangement occasioné par l'application des mains chaudes sur

les boules, ou par l'approche d'une bougie enflammée. Si néanmoins quelques globules se formaient dans le tube parce qu'on l'aurait ou trop violemment agité ou laissé sur le côté, on pourrait les dissiper en chauffant alternativement les deux boules avec une main, tout en frappant la base de l'instrument contre l'autre main, pour forcer les globules à monter ou à descendre. La flamme d'une bougie produira un effet plus prompt, mais qui offrira plus de dangers. Cette petite opération demande beaucoup d'expérience et de patience : il vaut mieux, en général, éviter ces chances. Les plus petits instruments sont beaucoup plus faciles à manier. L'*hygromètre portatif* peut être transporté dans la poche aussi commodément et aussi sûrement qu'une boîte à cure-dents. Le *photomètre portatif* est presque aussi commode, si ce n'est qu'il ne faut pas le renverser, de peur qu'une portion du liquide ne coule sur la boule transparente, accident qui, sans affecter sensiblement l'exactitude de l'instrument, laisserait sur le verre des traces désagréables à l'œil. Avec un peu de soin, le photomètre à branche et l'*æthrioscope* peuvent être transportés en toute sûreté.

Quant au liquide, dans toutes les modifications du thermomètre différentiel, je préfère, à cause de sa fixité et de ses autres propriétés, l'acide sulfurique concentré coloré par le carmin. Ses mouvements sont tout-à-fait réguliers, quoique quelquefois un peu lents, sur-tout dans les tubes très étroits. Les instruments deviennent beaucoup plus sensibles aux impressions variables quand les tubes ont un large calibre et que les boules qui leur sont soudées possèdent un diamètre d'une largeur convenable. Dans ces cas, on doit choisir la forme d'instrument où les tubes sont parallèles. Les boules peuvent

aller au-delà d'un pouce ou d'un pouce et demi de diamètre, et la distance entre les tubes peut être de quatre ou cinq pouces. Si l'on désire une grande mobilité plutôt que des effets très délicats, on peut substituer l'alcool coloré à l'acide sulfurique. Les instruments construits de la sorte sont les meilleurs pour montrer simplement les phénomènes.

La table donnée plus haut pour corriger les indications de l'hygromètre peut suffire dans les cas les plus ordinaires; mais elle n'est applicable rigoureusement qu'à l'air d'une densité ordinaire, puisque ce fluide augmente de capacité à mesure qu'il se raréfie : le même abaissement de température doit annoncer une augmentation proportionnelle de sécheresse. Ainsi, pour l'air pris à une hauteur de trois milles et demi, et conséquemment deux fois aussi rare qu'à la surface, il faudra ajouter un seizième aux nombres de la première colonne; car pour la moins grande hauteur, la correction consistera à multiplier ces nombres par trois fois cette hauteur exprimée en pieds, et à en retrancher six chiffres décimaux. Par exemple, supposons que le thermomètre étant à 28° centigrades, l'hygromètre marque 110° dans les plaines du Mexique à la hauteur de 8000 pieds au-dessus du niveau de la mer; alors $3 \times 8000 \times 255 = 612000$, qui, divisés par un million, donnent 6, que l'on ajoute à 255; le total 261° exprime l'évaluation de la sécheresse. Dans le plus grand nombre des cas, cette modification peut être négligée.

Mais quand on veut évaluer la distance du point de saturation dans l'air raréfié, il faut faire une plus grande correction. Le pouvoir dissolvant de ce milieu augmente d'environ 50° hygrométriques, toutes les fois que la raréfaction devient moitié plus grande. L'on peut donc calculer que notre atmosphère de-

viendrait d'un degré plus sèche à mesure qu'on s'élèverait de 360 pieds, en supposant que la température restât constante. D'après la supposition précédente, l'air des plaines du Mexique verrait sa distance, au point de saturation, s'éloigner de 22°,5, et l'échelle entière de sa température serait augmentée de 283,5° hygrométriques.

L'air, en perdant son excès d'humidité, passe à l'état de saturation (*the air, by exhaling its watery store...*) (1), mais, porté à une température plus chaude, il peut ensuite devenir sec. Tel est le cas des brises de la mer, sur-tout en été. Elles arrivent froides et humides sur le rivage, mais à mesure qu'elles avancent dans l'intérieur des continents, elles deviennent plus chaudes et plus sèches. Le même principe préside à la manière dont les divers vents se comportent relativement à l'humidité. A Colombo, dans l'île de Ceylan, la mousson de N.-E. a une température qui n'est que de 68° Fahr., et présente néanmoins une sécheresse de 75° hygrométriques. Mais la mousson opposée, celle de S.-O., quoique ayant une température de 82° au même thermomètre, est si peu humide, que l'hygromètre marque à peine 30°. Le vent froid qui souffle du nord s'échauffe et devient plus sec dans sa marche, tandis que le vent chaud soufflant de l'équateur est quelquefois refroidi et rendu plus humide, à mesure qu'il approche de Ceylan. Des variations plus

(1) Peut-être existe-t-il ici un *lapsus calami*: l'auteur a probablement voulu dire que de l'air qui contient une certaine quantité d'humidité peut passer à l'état de saturation si sa température s'abaisse suffisamment, ce qui est vrai et ce qu'il dit même dans cet alinéa.

grandes encore, de la sécheresse à l'humidité, peuvent s'observer dans les plages où souffle le sirocco, dans les îles Ioniennes.

Si la boule d'un hygromètre, recouverte de papier, se dessèche, l'instrument, même dans cet état, marquera, quoique pour un temps très court, l'état différent des milieux dans lesquels il est transporté. Ainsi, l'air d'un lieu étant supposé avoir 52° de sécheresse, en transportant cet hygromètre, arrivé à ce point de repos, dans un autre appartement à 70° , la colonne liquide s'abaissera d'environ 20° par l'évaporation de la quantité d'humidité qui avait encore adhéré à l'enveloppe de papier. Mais si l'instrument est transporté dans un appartement qui n'ait que 30° de sécheresse, la liqueur colorée s'élèvera d'environ 20° au-dessus de la naissance de l'échelle, parce que le papier prendra dans l'air un excès d'humidité. La vapeur, en se combinant avec lui, passe à l'état d'eau, et dégage une quantité correspondante de chaleur. L'équilibre est néanmoins encore rétabli au bout de quelques minutes, à moins que les enveloppes de papier ne soient considérablement épaisses. Ces changements sont manifestés beaucoup plus promptement, quand on plonge alternativement le thermomètre dans deux récipients contenant, l'un de l'air plus sec, et l'autre de l'air plus humide que celui du milieu que l'on considère. Si un pyroscope, dont les deux boules sont recouvertes de baudruche, est employé au même usage, il marquera un effet de même genre, quoique momentané; car, dans l'air qui est plus sec, la pellicule de la boule nue chassera sa moiteur plus aisément que celle de la boule dorée; au contraire, dans l'air qui est plus humide, la première absorbera l'humidité avec plus de promptitude que la seconde; de telle sorte que, dans le

premier cas , elle aura perdu une partie de sa chaleur , tandis que , dans l'autre , elle en gagnera un léger accroissement. La quantité d'humidité nécessaire pour produire ces variations passagères , ne doit point excéder la millième partie d'un grain. On peut aisément faire voir ces changements à un nombreux auditoire , en passant , par-dessus la balle garnie , un grand verre large de 2 à 3 pouces , dont l'intérieur est humecté d'eau , et , environ une minute après ; un autre cylindre de verre semblable au premier , et mouillé intérieurement d'acide sulfurique.

Si le large récipient au-dedans duquel on a suspendu un hygromètre délicat , est posé sur une plaque de cuivre , au-dessus d'une coupe de métal contenant un peu d'eau , l'air renfermé , en s'emparant d'une certaine quantité d'eau , arrivera graduellement à l'humidité , et ce changement progressif sera indiqué par l'instrument. Cependant la masse d'air n'atteindra jamais son terme d'humidité absolu , et avant que l'hygromètre arrive à 5° , l'intérieur du récipient paraîtra recouvert de rosée : par conséquent , pendant que l'humidité augmente , l'attraction du verre dépouille continuellement l'air contigu d'une portion de son humidité. Une distillation semblable a lieu sans cesse dans le milieu aériforme , la vapeur se condensant sur la surface du verre à mesure qu'elle se forme ; mais si , au lieu d'un récipient , on se sert d'un vase formé de métal poli , l'air qu'il renferme passera par tous les degrés possibles d'humidité , et l'hygromètre arrivera , après quelques instants , au commencement de l'échelle.

Les propriétés différentes d'une surface métallique et d'une surface vitreuse , pour attirer ou repousser l'humidité , peuvent être encore plus aisément montrées : pendant un temps serein et calme ,

placez, le soir, un verre à boire et une coupe d'argent, vides, près de la terre; comme l'humidité commence à prévaloir, le verre sera continuellement obscurci, et bientôt après mouillé d'une abondante rosée, avant que le métal ait indiqué quelques traces d'humidité. Cet effet est augmenté par les ondes froides qui viennent des hautes régions, et qui agissent plus puissamment sur le verre que sur le métal.

Puisque l'air, à mesure que l'on s'élève, possède plus de capacité pour la chaleur, et que, par conséquent, il devient plus froid, il doit devenir pareillement plus humide, mais une communication continuelle ayant lieu entre les parties élevées et les parties basses de l'atmosphère, la région moyenne doit, à cause de sa fraîcheur, être bientôt chargée d'humidité. Par conséquent, si cette tendance agissait sans opposition, les cieus seraient bientôt enveloppés de nuages perpétuels et de ténèbres, et jamais les rayons bienfaisants du soleil ne viendraient visiter la surface de notre globe: un principe de conservation se présente pour restreindre et vaincre les effets du froid, en disposant l'air à céder une portion de son humidité. Par la dilatation, ce fluide est rendu capable de contenir, pour une même température, une quantité plus considérable d'humidité. Chaque portion d'air qui s'élève verticalement, à partir de l'instant où le froid prédomine, augmente sans cesse d'humidité; mais après avoir atteint une certaine hauteur, il devient de nouveau de plus en plus sec, par suite de la grande dilatation qu'il éprouve. Chaque fois que le volume de l'air est doublé, il acquiert une augmentation de sécheresse égale à 50° hygrométriques; par conséquent, un degré ne serait que l'effet de la raréfaction de $\frac{7}{7}$ du volume. Cette légère variation cor-

respond encore à l'abaissement de température de $1^{\circ} \frac{1}{3}$ du thermomètre centigrade qui, près de sa surface, occasionne un accroissement d'humidité égal au degré actuel du pouvoir dissolvant de l'air divisé par 31,4. Supposons que le thermomètre marque 15 degrés centésimaux sur la terre, l'air, pour chaque élévation d'environ 390 pieds, serait $\frac{200}{31,4}$, ou plus humide de 8 degrés hygrométriques, quantité que l'influence de la dilatation réduirait à 70° . Si la température de la surface avait été abaissée jusqu'à 25° , ce qui correspond à un pouvoir dissolvant de $31^{\circ} \frac{1}{2}$, les efforts opposés de la raréfaction et du froid produiraient une compensation exacte, et une sécheresse constante existerait à une hauteur assez modérée.

On peut admettre que d exprimant la densité de l'air à certaine hauteur, et h l'indication correspondante de l'hygromètre $\frac{h}{62,8} \left(\frac{1}{a} + d \right)$, exprimera l'accroissement d'humidité occasionné par l'abaissement de température, tandis que la diminution provenant de la dilatation est d'un seul degré. Il résulte de là que, au pôle, le point où se trouve le *maximum* d'humidité dans l'atmosphère, doit être d'une hauteur de 13,300 pieds; où la densité serait de 6, la température se maintiendrait à $26^{\circ} 7$, et l'hygromètre à 29° . Sous l'équateur, cette limite serait portée à une hauteur beaucoup plus considérable, et cependant qui ne serait pas beaucoup plus grande que la courbe des glaces perpétuelles. Il est probable que les nuages considérables descendent très bas lorsque leur température est élevée par les ondes chaudes qu'émettent la surface de la terre et les couches inférieures de l'atmosphère. Nous ne commettons pas une erreur bien grave, en estimant la position de l'humidité extrême, à la hauteur de

deux milles sous le pôle , de quatre milles et demi sous l'équateur , et d'un mille et demi au-delà des limites de la congélation. Cette série de points est représentée par une ligne ondoyante presque parallèle à la courbe qui représente les hauteurs des congélations perpétuelles , mais qui se courbe davantage en approchant de l'équateur : elle indique la hauteur moyenne des nuages sous les différentes latitudes.

Les recherches les plus délicates sur les lois de la dispersion de l'humidité , sont faites à l'aide d'un petit atmomètre combiné avec un hygromètre à branches, qui lui correspond. La rapidité avec laquelle l'évaporation s'opère dans le gaz hydrogène , lorsque l'hygromètre n'accuse qu'une légère diminution de sécheresse , est un phénomène remarquable. On peut aussi obtenir quelques résultats remarquables , en renfermant la boule d'un atmomètre dans une enveloppe sphérique en bois , dont on remplit l'espace intermédiaire avec différents gaz , ou bien avec de la laine , du duvet ou de la fleur de farine. La boule exhalante peut aussi être renfermée dans deux hémisphères solides , en bois , que l'on réunit très exactement. On parvient aisément , par ce moyen , à reconnaître le mode de transmission de l'humidité ; mais ce n'est pas le lieu d'entrer dans des détails à ce sujet.

Quant au photomètre , sa sensibilité peut être considérablement augmentée , en retardant la perte de la chaleur de la boule noire. L'air qui l'entoure peut être raréfié jusqu'à doubler l'accumulation des impressions calorifiques ; et si l'on a soin de recouvrir l'appareil d'une cage de verre mince , l'effet total sera triplé. J'ai fait plusieurs modifications dans la forme la plus convenable à donner à cette cage. Pour produire une grande sensibilité , par exemple , j'ai ajouté à l'instrument un petit réflec-

teur parabolique, ou plutôt hyperbolique, au foyer duquel je fixais la boule sensible.

Le photomètre à double branche peut aisément être employé à mesurer la diminution d'intensité que la lumière éprouve en traversant une masse d'eau. Dans ce cas, on peut raccourcir l'échelle, et augmenter, au contraire, la dimension des boules. On fait un support en plomb pour recevoir cet instrument avec sa cage, que l'on a soin de cimenter. Lorsque l'instrument est préparé de la sorte, on le suspend verticalement par des fils de soie croisés, auxquels on attache une corde d'une certaine longueur, et qui porte une petite vessie à son autre extrémité. Quand le ciel est serein, que le soleil répand une lumière brillante, on plonge, au moyen d'une longue perche fixée au flanc d'un bateau, l'instrument, à quatre pouces environ au-dessous de la surface de l'eau; on le maintient pendant quelques minutes dans cette position, après quoi on le retire pour examiner le degré qu'il indique. Quand l'action directe des rayons solaires fait monter le photomètre à 90° , elle ne se trouve plus que de 32° , quand l'instrument est entouré d'une masse d'eau froide qui affaiblit l'intensité de l'influence des rayons. Ce fut en partant de ce point que l'on compta la diminution du nombre de degrés qu'occasionne l'enfoncement de l'instrument au-dessous de l'eau. Le photomètre abandonné dans les ondes, flotta pendant près d'un quart d'heure à la profondeur d'environ 5 à 6 brasses. En retirant l'appareil de l'eau, l'action moins intense de la lumière, qui avait été déterminée par le passage oblique longtemps prolongé, devenait très sensible. Pour donner une plus grande délicatesse au photomètre, on peut le renfermer dans une, deux, ou un plus grand

nombre de cages parallèles en verre transparent, séparées par des intervalles d'un demi-pouce.

Des expériences que j'ai faites dernièrement dans ce but, je conclus que la lumière incidente qui peut traverser une couche d'air d'une densité ordinaire, et de 15 milles et $\frac{1}{2}$ d'étendue, serait réduite à moitié de son intensité, en pénétrant à une profondeur perpendiculaire de 15 pieds dans les eaux de mer les plus transparentes, et qui sont par conséquent 5400 fois moins transparentes que l'air atmosphérique. La lumière est donc réduite au quart de son intensité, à chaque espace de 5 brasses d'eau qu'elle traverse verticalement; et conséquemment à 15 brasses de profondeur, il n'y aurait que la soixante-quatrième partie de la lumière qui se trouve à la surface des eaux. En supposant que le fond des mers, placé à cette distance, fût composé de sable blanc, la portion de lumière réfléchie, et qui reviendrait à la surface des flots, serait réduite à moins de 64×64 , ou à la 4096^e partie de ce qu'elle était d'abord, et cette clarté serait presque insensible pour les yeux les plus perçants. L'eau des lacs profonds, qui ne sont pas troubles en apparence, manifeste une opacité encore plus grande, et telle que la lumière perpendiculaire est diminuée de moitié en descendant de six pieds dans les eaux du lac de Leven (en Ecosse), ou même de deux pieds dans une couche d'eau artificielle à Raith, près de Kirkcaldy.

Quand le photomètre ne reçoit que les rayons directs du soleil, il marque l'absorption qui a eu lieu pendant le passage oblique à travers l'atmosphère. En combinant la théorie et l'observation, nous sommes parvenus à former la table suivante :

Hauteur du soleil.	Mesure de la couche atmosphérique.	Intensité de la lumière transmise.	Action calorifique à la surface.
90°	1.000	.750	.740
85	1.004	.749	.737
80	1.015	.747	.735
75	1.035	.742	.717
70	1.064	.736	.691
65	1.103	.728	.660
60	1.154	.718	.609
55	1.220	.704	.577
50	1.305	.687	.526
45	1.413	.666	.454
40	1.554	.640	.411
35	1.740	.606	.348
30	1.995	.563	.282
25	2.359	.507	.214
20	2.905	.434	.148
15	3.841	.331	.086
10	5.610	.199	.035
5	10.450	.050	.004
0	37.850	.00002	

La gradation de la température à différentes latitudes peut être représentée par un dessin géométrique. Supposons que la figure (252) représente un cadran ; soit 90° le pôle, 50 la latitude d'un lieu. Sur le rayon comme axe et paramètre, décrivez

une parabole qui passera par conséquent par le pôle, abaissez la perpendiculaire 50 B : sa portion représentée par AB, et coupée par la parabole, exprimera la température moyenne du lieu donné, au niveau de la mer, et dans le cas présent cette chaleur serait de 12° centésimaux.

La moyenne résultante est de deux tiers de celle qu'on obtient pour l'équateur, et par conséquent 19° $\frac{2}{3}$ ou 66°,8 de Fahr. : tel est ce qui a lieu pour la masse de la terre, si sa chaleur ne lui est pas propre et lui vient du dehors. Mais aux profondeurs peu considérables où nous pouvons pénétrer, nous ne ressentons que l'influence du voisinage immédiat de la surface de la terre, et dans les mines profondes qui sont les moins éloignées de l'équateur, on n'a point remarqué de tendance à l'élévation de température, ni, vers les pôles, de tendance à l'abaissement.

Ces impressions superficielles sont toutes produites par l'action des rayons solaires, ou directement, ou par l'intermédiaire de l'atmosphère. On peut calculer, d'après l'expérience, que, quand les rayons du soleil tombent verticalement et dans tout leur éclat, ils communiquent, par heure, un degré centigrade de chaleur à une couche d'eau d'un pied d'épaisseur ; conséquemment, puisque la surface d'une sphère est quatre fois celle de ses cercles générateurs, une telle couche d'eau répandue à la surface du globe recevrait 6 degrés de chaleur par jour. Mais la capacité de l'atmosphère pour la chaleur, qui est moins grande que celle de l'eau, peut être évaluée pour ses effets à ce que produirait une couche d'eau d'environ 12 pieds de profondeur, si la masse d'air recevait en définitive et conservait tout le calorique qui chaque jour élève sa température d'un demi-degré, et qui par suite la porterait

à $182^{\circ} \frac{1}{2}$ pendant le cours d'une année. Cet accroissement de chaleur est entièrement dispersé par la mobilité du milieu gazeux, et graduellement absorbé par la terre, ou plutôt répandu à travers les eaux de l'Océan, qui occupent au moins les trois quarts de la surface du globe. La lumière communiquée par l'éclat continu du soleil, soit que la terre la reçoive, soit qu'elle soit absorbée pendant son passage dans l'air, serait capable de communiquer 1° centigrade de chaleur au globe terrestre dans l'espace de 1323 ans, quantité trop petite, peut-être, pour être sentie, quoique l'on puisse la découvrir par des observations délicates.

Il est aisé de démontrer par les lois de l'optique, que la quantité de lumière tombant sur une surface horizontale doit être proportionnelle au sinus de son obliquité; d'où il résulte que la lumière qui arrive à l'équateur vers le temps de l'équinoxe est à celle qu'il accumulerait pendant vingt-quatre heures, s'il maintenait son intensité au même point, comme le diamètre est à la circonférence du cercle. L'accroissement journalier de la chaleur que reçoit l'atmosphère monterait en ce climat, dans la saison dont nous parlons, à $\frac{6.33}{1000}$ d'un degré. Au pôle, le jour de la Saint-Jean, pendant le cercle complet qu'il décrit, le soleil communique une chaleur plus grande d'environ $\frac{1}{4}$ ou de $\frac{79}{1000}$ de degré: la permanence du soleil au-dessus de l'horizon fait plus que compenser la faiblesse des rayons obliques.

En général, la quantité de lumière envoyée dans un certain espace par le soleil pendant l'intervalle d'un jour, est proportionnelle au sinus de la moitié de l'arc décrit en un jour, ou à la distance du midi au coucher, entre les co-sinus de la latitude et de la déclinaison, joints au produit de cet arc lui-même entre les sinus de latitude et de déclinaison.

Cette dernière quantité de l'expression doit être considérée comme ajoutée ou soustraite, suivant que la déclinaison a lieu du même côté ou du côté opposé. Ainsi à Edimburgh, qui est sous la latitude 56° , la chaleur qui s'accumule pendant un jour de solstice d'été est $\frac{3.07}{1.000}$ de degré, et seulement de $\frac{1.7}{1.000}$ au solstice d'hiver. Si l'on calcule la quantité de lumière ou de chaleur que nous recevons du soleil pendant la moitié d'une période annuelle, depuis l'équinoxe du printemps jusqu'à celui d'automne, et depuis ce dernier jusqu'à celui du printemps, on arrivera à former la table suivante :

	Été.	Hiver.	Toute l'année.
Équateur.	116°	116°	232°
Tropique.	127	87	214
Latitude 45° . . .	120	42	162
Cercle arctique. .	102	12	114
Pôle.	8	0	84

L'accumulation annuelle qui a lieu à la latitude de 45° est ainsi de 162° , qui diffèrent très peu de 158° , moyenne des effets produits par la chaleur à l'équateur et au pôle. On peut observer également que les effets varient plus lentement vers les extrémités que vers le milieu du cadran. Par conséquent, de l'équateur au tropique, et du cercle arctique au pôle, les différences sont 30° et 28° ; mais dans des intervalles plus petits, du tropique à la latitude de 45° , et de là au cercle arctique, les différences sont 5° et 48° . La propriété que nous venons d'éta-

blir correspond au changement de la température moyenne en différentes latitudes.

Si un courant d'air venant de l'équateur, et dont la température serait à 29° , était supposé marcher vers le pôle, duquel un courant égal et contraire irait pareillement vers l'équateur, chaque transport apporterait 58° de chaleur. En deux ou trois semblables voyages effectués en une année, l'accumulation de 148° de chaleur pourrait être entièrement dispersée; il ne faudrait pour cela que l'existence d'un vent marchant vers le nord avec une vitesse de 46 milles par jour: il ne serait même pas nécessaire que ce vent fût permanent et soufflât directement vers le nord. L'effet serait le même, vers quelques points de la rose des vents qu'il se dirigeât, si la vitesse était seulement de 3 milles par heure; supposition qui s'accorde parfaitement avec les observations actuelles.

Une autre figure peut aussi représenter la gradation de hauteur qui marque la limite des neiges dans les différentes latitudes. Ainsi, si la ligne horizontale (Fig. 253) représente la distance de l'équateur au pôle divisé en 90, chaque ligne verticale correspondante à la latitude indique la hauteur de la limite de congélation perpétuelle évaluée en milles anglais.

Les extrémités de ces perpendiculaires étant réunies par une ligne, donneront une courbe qui offrira des sinuosités en sens opposés. Cette courbe se plie lentement d'abord en partant de l'équateur, devient plus rapide vers les latitudes du milieu, et redevient oblique vers la surface du pôle.

Les ordonnées de cette courbe de congélation, ou la hauteur de la limite du froid éternel, peuvent se trouver avec une précision suffisante d'après la gradation corrigée du froid, si le premier mul-

tiplicateur était sous chaque parallèle de latitude conforme à la température moyenne. Dans des latitudes plus élevées, la correction que l'on doit faire est petite, mais elle devient considérable sous les tropiques. Par exemple, pour la latitude moyenne de 45°, elle n'est que de 110 pieds, tandis qu'à l'équateur elle s'élève à 877; mais, excepté dans ce cas extrême, la hauteur de la limite des neiges diffère généralement très peu du produit de la température moyenne multiplié par 540. Cette ligne doit par conséquent être très près de coïncider avec la courbe formée par la comparaison des séries de température avec les latitudes successives.

Ombromètre ou Hydromètre.

Cet instrument porte aussi le nom ridicule de *pluviomètre*, que lui donnèrent quelques personnes tellement ignorantes de la formation des mots composés, qu'elles ne savent pas que ceux-ci ne doivent pas être à moitié latins et à moitié grecs : mais aujourd'hui les personnes tant soit peu éclairées rejettent cette dénomination hybride.

L'ombromètre se compose d'un cylindre de cuivre, et d'un entonnoir évasé, dont la pointe se rend dans le cylindre. de la partie inférieure du cylindre part un tube de verre qui s'élève verticalement, et dans lequel le liquide vient se mettre de niveau avec celui de l'intérieur du cylindre. Ce tube porte des graduations dont on a estimé la valeur. Quelquefois on donne à l'entonnoir un diamètre beaucoup plus grand que celui du cylindre, afin de rendre plus sensibles de faibles quantités de pluie; alors il faut connaître les rapports des surfaces (*Voy. cet instrument*, Fig. 254).

Anémomètre.

C'est à l'aide de cet instrument que l'on mesure la vitesse de l'air, soit pendant les vents ordinaires, soit pendant les ouragans. Nous allons rapporter ici l'opinion d'un technologue moderne, dont les connaissances sont justement appréciées. « On a proposé, dit-il, divers appareils ayant pour but de mesurer la force du vent. Celui de Wolf consiste en un petit moulin à vent, qui s'oriente de lui-même, à l'aide d'un facile mouvement autour d'un axe vertical et d'une rame qui fait l'office de girouette, pour diriger les ailes contre le vent. Ces ailes, au nombre de quatre, font tourner l'axe horizontal, ayant une vis sans fin, qui engrène avec une roue verticale; sur l'axe de cette roue est porté une sorte de pendule qui est vertical dans l'état de calme parfait; mais qui, faisant corps avec la roue, tourne avec elle, et prend ainsi divers degrés d'inclinaison avec l'horizon. Un poids proportionné à l'étendue des ailes est placé au bout de la tige de ce pendule, et, à l'aide d'une rainure où il est retenu, peut glisser selon sa longueur. On voit qu'à mesure que le moulin tournera par l'effort du vent, l'arbre fera tourner la roue et élèvera le poids dont est chargé ce pendule, en même temps qu'il s'éloignera du centre; cet effet développera ainsi une résistance sans cesse croissante, parce que le bras de levier de ce poids, qui n'est autre chose que la distance à la verticale menée par l'axe de la roue, sera de plus en plus grande. Lorsque le poids s'est assez écarté sous l'effort du vent pour que le mouvement d'ascension du poids soit arrêté, l'angle du pendule avec la verticale, indiqué par un

quart de cercle fixe, mesure la force du vent.
Voy. Fig. 255.

L'anémomètre de Bouger consiste en un disque de tôle qui se présente perpendiculaire à l'action du vent; ce disque est retenu par un peson qui mesure la charge supportée, et par conséquent la force du vent.

On peut aussi voir la description de l'anémomètre de Poléni dans la pièce couronnée en 1733 par l'Académie des sciences, et consignée dans les volumes des prix, ainsi que celui de d'Ons-en-Brai, dans les mémoires de 1734 : ce savant suppose que sa machine est propre à marquer d'elle-même sur le papier, « non-seulement les vents différents qui ont soufflé pendant 24 heures, ainsi que les heures où ils ont commencé et cessé leur action, mais encore les vitesses de leur cours. »

§ II.

Atmosphère.

On a donné le nom d'atmosphère à cette couche gazeuse, invisible, qui enveloppe notre globe, et dans laquelle s'élèvent les vapeurs qui vont former les nuages, qu'agitent les vents, qui eux-mêmes ne sont autre chose que des mouvements du fluide qui nous enveloppe et que nous respirons. Long-temps l'air fut mis au nombre des éléments, et c'est même dans ces derniers temps seulement que l'on est parvenu à montrer qu'il est composé, et que l'oxygène et l'azote étaient les deux gaz qui le formaient presque en totalité : en effet, si l'on ne fait point attention à l'acide carbonique et à la vapeur d'eau,

qui ne sont qu'une faible partie de l'atmosphère, on trouve que l'air est formé de 21 d'oxygène pour cent, et de 79 d'azote. Mais, quoique l'acide carbonique et l'eau ne soient pas nécessaires à la composition de l'air, ils ne laissent pas néanmoins de jouer un grand rôle dans les phénomènes de la nature animale et végétale, l'un en favorisant l'accroissement des végétaux, l'autre en empêchant que l'air ne dessèche nos organes, et en répandant d'un autre côté, par le moyen de la pluie, un liquide qui va revivifier les plantes.

Vents.

Les vents, ou, pour les désigner par une expression qui en donne une idée fort exacte, les *courants d'air*, sont occasionés par les changements qu'introduisent, dans la pesanteur spécifique et le ressort du fluide aérien, des causes qui en déplacent une portion, en agissant inégalement sur quelques points de l'atmosphère.

Les vents se divisent en vents *généraux*, *périodiques* et *irréguliers*. Les vents généraux ou alizés soufflent entre les tropiques, ou rarement au-delà; leur action est continue et suit une direction constante.

Les vents périodiques, ou moussons, sont ceux qui, pendant plusieurs mois, soufflent dans une direction, et qui ensuite sont remplacés, pendant un égal espace de temps, par un courant contraire.

Les vents irréguliers n'observent ni époques, ni durée, et soufflent de différents côtés.

On peut rendre raison des vents, soit en admettant une dilatation dans le point de l'atmosphère d'où part le courant, soit encore en supposant une condensation dans le lieu vers lequel il se dirige:

cette dernière hypothèse paraît plus probable que l'autre, et acquiert un nouveau poids par l'observation que l'on a faite sur le vent du nord, qui montre que l'action se fait sentir d'abord dans les contrées les plus méridionales. Ce fut une éclipse de lune, visible par toute la terre, qui donna occasion de vérifier ce fait. « Au commencement de l'éclipse, nous dit-on, un violent vent du nord s'est manifesté dans les Florides; à Philadelphie, qui est plus au nord, on l'a ressenti lorsque l'éclipse était déjà commencée; et enfin l'éclipse était terminée, lorsque ce même vent s'est fait sentir à Boston, qui est encore plus au nord que les deux endroits que nous venons de citer. »

La vitesse des vents varie d'une manière considérable; nous allons rapporter ici la table suivante, extraite de l'Annuaire du bureau des longitudes, qui donnera une idée parfaite de ces différentes vitesses.

Vitesse par sec. en mètres.	Vitesse par heure. en mètr.	en lieus.	
0,5	1800	0,40	Vent à peine sensible.
1,0	3600	0,81	Sensible.
2,0	7200	1,62	Vent modéré.
5,5	19800	4,45	Vent assez fort.
10,0	36000	8,16	Vent fort.
20,0	72000	16,20	Vent très fort.
22,5	81000	17,35	Tempête.
27,0	97200	22,04	Grande tempête.
36,0	104400	29,33	Ouragan.
45,0	162000	36,62	Ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres.

Nous allons rapporter ici les observations et les réflexions les plus intéressantes qui aient été faites sur un sujet aussi curieux; nous parlerons d'abord des vents alizés. « Ils s'étendent aux 28, 32, et quel-

quefois jusqu'aux 40° au nord et au sud de l'équateur. H. Adley a donné de ce phénomène l'explication suivante : l'air, échauffé entre les tropiques par la présence continuelle du soleil, tend à s'élever, et laisse arriver l'air situé sous les parallèles voisins ; mais la masse d'air qui entoure notre globe acquiert, après un certain temps, dans chacun de ses points, une vitesse de rotation proportionnelle au rayon du parallèle décrit par le point. L'air, transporté vers l'équateur avant qu'il ait pu acquérir la vitesse propre au parallèle qu'il va décrire, reste en arrière des corps qui ont cette vitesse, et les frappe dans une direction contraire à leur mouvement. La direction du vent doit alors être de l'est à l'ouest. Mais, de plus, l'air ayant, par son déplacement, une vitesse dans le sens du méridien, et une vitesse de rotation autour de la terre, les forces qui produisent ces vitesses se composent en une seule ; ce qui doit détourner la direction des vents alizés un peu vers le nord dans l'hémisphère boréal, et un peu vers le sud dans l'hémisphère austral ; et c'est ce qu'on observe en effet. Il semble alors que le vent d'est doit régner sur l'équateur ; mais cela n'a pas lieu. Le vent d'est souffle au nord de l'équateur.

La ligne qui sépare les vents alizés du nord-est de ceux de sud-est, dans l'Océan Atlantique, se trouve par les troisième ou quatrième degrés de latitude nord ; et si sa position est l'effet d'un plus long séjour du soleil dans l'hémisphère boréal, elle tend à prouver que les températures des deux hémisphères sont dans le rapport de 11 à 9. A l'ouest de l'Amérique, les vents alizés du sud-est dépassent moins l'équateur que dans l'Océan Atlantique ; et, en effet, la différence avec laquelle les couches d'air refluent des pôles vers l'équateur, ne peut pas être la même pour tous les degrés de latitude, c'est-

à dire , sur des points du globe où les continents ont des largeurs différentes , et où ils se prolongent plus ou moins vers les pôles.

Les vents alizés règnent sans interruption sur le grand Océan. Les flotilles qui partent d'Acapulco pour les îles Philippines , sont toujours conduites par un vent favorable. Cette traversée, de presque la moitié du globe , se fait en soixante jours , sans que l'on change de voiles ; mais il est impossible de revenir par la même route ; on est obligé de gouverner au nord jusqu'à une limite où les vents variables des climats tempérés commencent à régner.

Dans les hautes régions de l'atmosphère , il doit régner un vent d'ouest contraire aux vents alizés. L'air qui reflue de l'équateur vers les pôles , pour remplacer celui qui va des pôles à l'équateur , doit produire un contre-courant , dont l'existence dans les régions supérieures de l'atmosphère entre les tropiques a été plusieurs fois vérifiée. Un événement la prouve d'ailleurs suffisamment. Il y eut une éruption d'un volcan dans l'île de Saint-Vincent ; le vent d'est soufflait alors , et un nuage de cendres qui s'éleva dans les hautes régions de l'atmosphère fut porté à la Barbade , qui est à l'est de Saint-Vincent. Ce contre-courant s'observe journellement aux îles Canaries , car le pic de Ténériffe s'élève jusqu'à lui , même au cœur de l'été. Tous les voyages au sommet du pic font mention de l'énergie du vent de l'ouest. M. de Humboldt monta au sommet du pic le 21 juin , et quand il fut parvenu au bord du cratère , le vent d'ouest était si violent , qu'il lui permit à peine de se tenir sur ses pieds. Si , dans cette saison , un vent d'ouest semblable avait soufflé à Sainte-Croix ou à Orotava , on aurait été aussi étonné qu'on l'avait été de la pluie de cendre à la Barbade.

Glas rapporte quelques circonstances qui peuvent faire saisir la véritable marche des deux courants d'air placés l'un au-dessus de l'autre. Tous les marins exercés tiennent pour règle que la terre ferme des climats chauds attire les vents en tout temps et constamment : c'est sans doute parce que l'air chaud et ascendant de la terre ferme doit être remplacé par le vent alizé. Aussi les Canaries ressentent-elles cette influence du voisinage. Le vent du nord-est se détourne vers les continents, et cela d'autant plus, que les îles sur lesquelles il souffle sont plus voisines de ces côtes. Les îles élevées, telles que les Canaries, Ténériffe et Palma, arrêtent ces vents si complètement, que, dans le temps qu'il soufflent avec force sur les côtes exposées au nord-est, on éprouve un calme parfait sur les côtes opposées.

Un mouvement oscillatoire très régulier de l'atmosphère, dont la généralité a été reconnue récemment, est celui qui produit les variations horaires du baromètre. M. de Humboldt a reconnu que le baromètre est à son maximum à neuf heures du matin; qu'il ne descend que très peu jusqu'à douze heures, mais beaucoup depuis midi jusqu'à quatre heures ou quatre heures et demie; qu'il remonte de nouveau jusqu'à onze heures de la nuit, où il est un peu plus bas qu'à neuf heures du matin. Il baisse de nouveau toute la nuit jusqu'à quatre heures et demie du matin, où il est un peu plus haut qu'à quatre heures de l'après midi; enfin il remonte depuis quatre jusqu'à neuf heures du matin. Les époques de ces variations horaires sont les mêmes sur les côtes du grand Océan et dans les plaines de la rivière des Amazones que dans les endroits élevés de 2,000 toises; elles paraissent indépendantes des changements de température et des saisons.

La marche du baromètre ne paraît déterminée que par le temps vrai ou la position du soleil. En quelques endroits des tropiques, le moment où le baromètre commence à descendre est tellement marqué, qu'à moins d'un quart-d'heure près, le baromètre indique le temps vrai. Au niveau de la mer, sous l'équateur, le terme moyen du baromètre étant z , sa hauteur est à peu près, à vingt-une heures, $z+0,5$; à quatre heures, $z-0,4$; à onze heures, $z+0,1$; à 16 heures, $z-0,2$.

Les vents les plus connus sont ceux de terre et de mer. Sur mer, il règne, la nuit, un vent de terre directement opposé au vent de terre qui régnait le jour. Voici comment on explique ce phénomène : le jour, le soleil chauffe plus le sol que la mer; l'air atmosphérique est alors plus dilaté au-dessus de la terre qu'au-dessus de la mer, et tend à s'élever; les couches d'air qui se trouvent être au-dessus de la mer viennent remplacer celles qui s'élèvent, et il se forme un courant de la mer à la terre.

La nuit, le contraire a lieu, parce que les variations de température sont moins sensibles sur mer que sur terre : il se forme un courant de la mer à la terre.

Dans l'Océan Indien, les moussons semblent détruire l'uniformité du mouvement général de l'atmosphère. Depuis le tropique méridional jusqu'au 10^e degré de latitude S., les vents alizés règnent habituellement; mais au nord de cette limite commence l'empire des moussons ou vents périodiques de six mois. Depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, un grand vent souffle continuellement du sud-ouest, et pendant le reste de l'année un vent sec et agréable souffle du nord-est. Le changement d'une mousson à l'autre se fait graduellement et est

accompagné de tempêtes et d'ouragans. Ce courant ne paraît pas très élevé dans l'atmosphère, puisqu'il est arrêté par des montagnes d'une hauteur médiocre. Sur les côtes de l'archipel Indien, les moussons soufflent presque directement nord et sud.

Il existe dans la zone équinoxiale boréale, des brises ou vents du nord-est, dont la cessation coïncide avec la saison des pluies et des orages, avec le passage du soleil par le zénith du lieu, et avec la fréquence des calmes et des bend'avales, qui sont des vents du sud-est et du sud-ouest orageux, accompagnés d'un ciel couvert. M. de Humboldt pense « qu'on peut trouver une cause de la coïncidence de ces phénomènes, dans l'interruption du courant qui souffle d'un pôle homonyme, dans le manque du renouvellement de l'air sous la zone torride, et dans l'action continue du courant ascendant humide. »

Trombes.

Les *trombes* ou *siphons* sont des phénomènes désastreux qui s'exercent dans un espace assez petit de l'atmosphère. Aucune partie du globe n'est à l'abri de ces ravages; car on voit les sables des déserts brûlants de l'Afrique, les neiges des plaines de la Sibérie, les eaux des mers et des lacs, dans toutes les latitudes, s'élever en tourbillonnant. Il faut dire néanmoins que les mers qui baignent les rivages de la Chine et du Japon et les pays chauds, présentent plus fréquemment ce météore que les climats froids et tempérés.

Trombes terrestres.

Ces trombes se présentent sous la forme d'une colonne d'air immense, tourbillonnant avec une

grande vitesse, et , quand elle est très forte , desséchant les lacs et les étangs , brisant les arbres , elle enlève tout ce qui se trouve sur son passage. Nous allons citer ici l'observation d'une trombe ordinaire, dont Franklin rend compte dans les termes suivans à M. Collinson , son ami : « Etant dans le Marylan , dit-il , et allant à cheval avec le colonel Tasker et quelques autres amis à sa maison de campagne , où le digne et aimable homme nous a reçus , mon fils et moi , avec toute l'honnêteté et l'agrément possibles , nous vîmes , dans un vallon au-dessous de nous , un petit tourbillon qui commençait dans le chemin même , et qui se faisait remarquer par la poussière qu'il enlevait , et qu'il contenait. Il paraissait en forme de pain de sucre , alongé par sa pointe , qui montait à nous le long de la colline , en grossissant à mesure qu'il avançait. Lorsqu'il passa près de nous , son petit bout , tourné vers la terre , ne paraissait pas plus gros qu'un baril ordinaire ; mais il s'élargissait tellement vers le haut , qu'à quarante ou cinquante pieds d'élévation , il semblait avoir vingt ou trente pieds de diamètre. Le reste de la compagnie s'arrêta pour le considérer ; mais , comme ma curiosité était plus forte , je le suivis en poussant mon cheval tout à côté , et j'observai que sur son chemin il léchait , pour ainsi dire , toute la poussière qui se trouvait au-dessous de son petit bout.

» Comme c'est une opinion commune qu'un coup de feu tiré sur une trombe la fait crever , j'essayai de rompre ce petit tourbillon en le frappant avec mon fouet à coups redoublés , mais inutilement.

» Peu de temps après , il quitta le chemin , et entra dans le bois , où il devint plus grand et plus fort de moment en moment , enlevant , au lieu de poussière , des feuilles sèches , dont la terre était toute jonchée , et faisant beaucoup de bruit entre

ces feuilles et les branches d'arbres, pliant et tournant circulairement de gros arbres avec une agilité et une force surprenante ; quoique le mouvement progressif du tourbillon ne fût pas si prompt qu'un homme à pied ne pût le suivre d'un pas égal, cependant le mouvement circulaire était d'une rapidité étonnante. Les feuilles dont il était alors rempli me firent apercevoir distinctement que le courant d'air qui les chassait montait de bas en haut en ligne spirale ; et quand je vis des troncs et des corps de gros arbres que le tourbillon avait enveloppés dans son passage, et qu'il restait en son entier lorsqu'il était passé outre, je ne fus plus étonné que mon fouet n'eût rien opéré sur le petit tourbillon commençant.

» Je l'accompagnai environ trois quarts de mille, jusqu'à ce que quelques branches mortes d'arbres, brisées par le tourbillon, volant en l'air, et tombant à côté de moi, me fissent appréhender du danger. Je m'arrêtai alors, me contentant de suivre des yeux sa tête, à mesure qu'il avançait, les feuilles qu'il emportait avec lui le rendant visible à une très grande élévation au-dessus des arbres. La plupart de ces feuilles, s'échappant librement de la partie supérieure et la plus large du tourbillon, étaient dispersées par le vent ; mais elles étaient si fort élevées dans l'air, qu'elles ne paraissaient pas plus grosses que des mouches.

» Mon fils, qui était venu avec moi jusque là, suivit le tourbillon dans toute la traversée du bois, au sortir duquel il croisa un vieux champ de tabac, où, n'ayant trouvé ni poussière ni feuilles à enlever, il devint peu à peu invisible par le bas, et enfin se dissipa tout-à-fait au-dessus de ce champ.

» Le cours du vent général qui soufflait alors suivait à peu près la même ligne que nous, et le

mouvement progressif du tourbillon était dans une direction presque opposée, quoiqu'il ne suivit pas une ligne droite, et que sa marche ne fût pas uniforme, faisant dans sa route de petits écarts à droite et à gauche, avançant tantôt plus vite et tantôt plus lentement, et semblant quelquefois stationnaire pendant quelques secondes, pour s'élançer ensuite en avant avec plus de force. »

Trombes marines.

Les trombes marines sont accompagnées d'un bouillonnement; les eaux semblent vouloir s'élever dans l'atmosphère sous la forme de pyramide tronquée; elles occupent sur la mer un espace circulaire, tandis que la partie opposée du ciel présente un nuage qui a la forme d'un cône renversé, dont la pointe semble descendre vers la surface des flots.

Les désastres causés par ces trombes sont quelquefois terribles, et on voit alors les mâts des vaisseaux brisés, les voiles mises en lambeaux, les cordages rompus, et souvent le navire lui-même englouti dans les flots: voici comment Dampierre fait la description de l'accident qui faillit anéantir, en 1674, le *Blessing* sur les côtes de Guinée, à la latitude de sept à huit degrés nord: « Une des trombes que les marins aperçurent s'avança avec beaucoup de vitesse directement sur le vaisseau, et creva un peu avant que d'arriver au bâtiment, en faisant un grand bruit et faisant élever l'eau d'alentour, comme si on avait jeté dans la mer une grande maison ou quelque chose d'approchant. Le vent continua avec fureur, et prit le vaisseau à tribord, avec une telle violence, qu'il brisa tout à

la fois les mâts de beaupré et de misaine , et soufflant sur toute la longueur du vaisseau , le jeta de côté et pensa le renverser tout-à-fait ; mais le vaisseau fut bientôt redressé , parce que le vent , en tourbillonnant , l'ayant repris avec la même furie , mais par le côté opposé , le rejeta sur l'autre bord et pensa lui faire faire encore la culbute. Le mât d'artimon essuya la fureur de cette seconde bouffée , et fut brisé près du pied , comme l'avaient été les deux précédents. » Et voici comment le docteur Mercer rend compte d'une trombe qu'il observa près d'Antigua. « Il parut , dit-il , à peu de distance de l'embouchure du havre de Saint-Jean , deux ou trois trombes , dont l'une dirigeait son cours sur le havre ; son mouvement progressif était lent et inégal ; non point en ligne droite , mais par élans et par bonds. Lorsqu'elle fut parvenue directement au-dessus du port , j'en étais environ à cent verges (1). Il parut dans l'eau un cercle d'environ vingt verges de diamètre , qui m'offrit un spectacle tout à la fois agréable et terrible. L'eau était violemment agitée dans ce cercle , où elle était balayée et emportée avec beaucoup de rapidité et de vacarme , et réfléchissait un éclat , comme si le soleil avait dardé ses rayons les plus vifs sur cet endroit ; ce qui était d'autant plus remarquable , qu'il paraissait un cercle ténébreux tout à l'entour. Lorsqu'elle eut gagné le rivage , elle enleva avec la même violence des lattes , des perches , de grandes pièces de charpente , etc. , et une petite maison de bois , qu'elle enleva en entier de ses fondements , et la transporta à la distance de quarante pieds de sa première

(1) La verge est d'environ cinq pieds anglais.

place, et la posa là, sans la briser, ni la renverser; et, ce qui est fort remarquable, c'est que, quoique le tourbillon s'avancât de l'ouest à l'est, la maison fut portée de l'est à l'ouest. Deux ou trois nègres et une femme blanche furent tués par la chute de cette maison qui avait été enlevée en l'air et qui retomba sur eux. »

Quelques physiiciens ont regardé l'électricité comme la cause de ce phénomène aussi curieux que terrible; mais il nous semble que c'est plutôt à l'action du vent qu'il faut recourir pour en rendre raison.

Nuages et brouillards.

Nous n'ajouterons rien à ce que nous avons dit précédemment, page 276, sur la théorie des nuages et des brouillards; nous rapporterons seulement l'observation suivante, due à M. de Humboldt, sur la précipitation des vapeurs.

Le courant ascendant est une des causes principales des phénomènes météorologiques les plus importants. Quand une plaine sablonneuse dénuée de plantes est bornée par une chaîne de montagnes élevées, on voit le vent de mer pousser par-dessus ce désert des nuages épais qui ne se dissolvent que lorsqu'ils sont arrivés aux montagnes. Jadis on expliquait ce phénomène d'une manière peu exacte, en disant que les chaînes des montagnes attirent les nuages. La véritable cause paraît en être dans cette colonne d'air chaud ascendant, qui s'élève de la surface de la plaine sablonneuse, et qui empêche les vapeurs de se dissoudre. Plus une surface est dépourvue de végétation, plus le sable s'échauffe, plus les nuées s'élèvent; moins par conséquent la

dissolution doit s'opérer. Toutes ces causes cessent d'agir sur le penchant des montagnes. Le jeu du courant d'air perpendiculaire y est plus faible. Les nuées s'abaissent et se résolvent en pluie dans les couches d'air plus fraîches. Ainsi, le manque de pluie et le défaut de plantes réagissent réciproquement l'un sur l'autre. Il ne pleut pas, parce que la surface sablonneuse, nue et privée de végétation, s'échauffe davantage, et réfléchit plus de chaleur; et le désert ne devient pas une steppe ou une savane, parce que sans eau il ne peut y avoir de développement organique. (HUMBOLDT, Tableaux de la Nature, tom. II, p. 95.)

Rosée et gelée blanche, voyez pages 277 et 278.

Pluie.

Nous avons donné, en parlant des instruments météorologiques de M. Leslie, la théorie ingénieuse qu'il donne de la chute de la pluie, quand des nuages à des températures différentes viennent à se rencontrer; et il nous suffira d'ajouter ici qu'en général la quantité d'eau qui tombe dans un pays est d'autant plus grande que celui-ci se rapproche davantage de l'équateur. On remarque alors que la pluie tombe autant en un seul jour dans ces lieux qu'à de plus grandes latitudes pendant le cours de plusieurs mois, et même d'une année tout entière.

Neige.

La formation de la neige paraît être produite lorsque la température de l'air venant à s'abaisser jusqu'au degré de congélation, les gouttes d'eau so-

lidifiées qui en résultent, se changent, en neige, et forment en tombant, par leur réunion, des étoiles à six rayons lorsque l'air est calme, et des flocons lorsque ce fluide est agité.

Grêle.

On explique la formation de la grêle de la manière suivante : l'on suppose deux nuages orageux placés l'un au-dessus de l'autre, chargés d'électricité de nom contraire, et à une distance convenable ; on suppose en outre que par une évaporation, un refroidissement, ou une cause quelconque, il s'est formé entre ces nuages de petits grains de grêle qui, dans leur chute, rencontrent le nuage inférieur, se chargent de la même électricité que lui, après quoi ils sont repoussés par l'électricité de ce nuage, et attirés par celle du nuage supérieur, sur lequel ils y neutralisent une quantité égale de fluide du nom contraire à celui dont ils sont chargés ; ensuite ils partagent avec le nuage son électricité, sont repoussés et attirés par l'électricité du nuage inférieur qui les repousse à son tour, et ainsi de suite. Alors on conçoit que les plus petits grains de grêle, venant à rencontrer dans leur trajet la vapeur aqueuse répandue dans l'air, peuvent se condenser à leur surface et accroître ainsi leur volume, jusqu'à ce que leur poids l'emportant sur les forces électriques, les oblige à se précipiter sur la terre.

De la Chaleur terrestre.

Les divers degrés de chaleur ou de froid exerçant une influence plus ou moins directe sur la plupart

des phénomènes météorologiques, nous devons examiner la question générale de la distribution de la chaleur dans le sein de la terre et de l'atmosphère. Pour résoudre cette question d'une manière complète, il ne faudrait pas seulement des observations passagères, faites sur quelques points isolés du globe, mais il faudrait des observations séculaires faites avec de bons instruments dans tous les climats différents. Or, nous sommes loin de posséder ces éléments essentiels : la plupart des observations anciennes étaient faites comme au hasard et avec peu de précision ; la météorologie de la chaleur ne date, en réalité, que du commencement de notre siècle ; c'est alors que les immenses travaux de M. Humboldt, et les profondes recherches théoriques de M. Fourier et de M. Laplace, ont puissamment concouru à lui donner son essor et sa véritable direction. Les bonnes observations sédentaires se sont multipliées, de nombreux voyages scientifiques ont été exécutés dans les hautes montagnes, sur toutes les mers et dans des pays jusqu'alors inconnus à la science. Les résultats qui ont été recueillis dans le court espace de ces trente dernières années, forment déjà un vaste ensemble ; et, s'ils sont encore incomplets par leur nombre et par la durée qu'ils embrassent, il est vrai de dire qu'ils conduisent à plusieurs grandes questions sur l'état thermométrique du globe qui peuvent, dès aujourd'hui, être abordées et discutées avec des données précises.

Ce chapitre est consacré à l'examen de ces questions ; nous les divisons en plusieurs articles sous les titres suivants :

Température de l'air à la surface du sol.

Température à diverses profondeurs au-dessous du sol.

Température à diverses hauteurs au-dessus du sol.

Température des eaux.

Température de l'air à la surface du sol.

Disposition des instruments.—Lorsqu'on se propose de déterminer les températures d'un lieu par les observations sédentaires, il faut apporter le plus grand soin dans le choix et dans la disposition des instruments.

Tout thermomètre est bon, lorsqu'il est bien construit, pourvu qu'il ait été gradué d'après les véritables principes, et pourvu qu'il soit vérifié de temps à autres pour corriger les mouvements du zéro. Avec ces conditions, le choix de la substance n'a plus qu'une légère importance : on peut se servir de mercure ou d'alcool, d'eau, d'huile ou de tout autre corps capable de supporter les variations de températures, sans changer d'état.

Cependant, la masse de l'instrument et son pouvoir rayonnant doivent entrer en considération : un gros thermomètre peut devenir inexact par son intensité ; car s'il exige, par exemple, deux ou trois heures pour prendre la température ambiante, il ne donnera qu'une fausse indication des variations passagères.

Un petit thermomètre, au contraire, reproduira fidèlement et à chaque instant, les influences qui s'exercent sur lui ; un thermomètre à grand pouvoir rayonnant peut devenir inexact par sa *sensibilité*, car il s'échauffe ou se refroidit par deux causes : par le contact de l'air et par le rayonnement, qui exerce alors une partie notable de l'action totale. Or, comme on cherche seulement la température de la masse d'air libre, il est évident qu'il faut, autant qu'il est possible, se mettre à l'abri du pouvoir rayonnant de l'air dont on veut connaître la température.

Il ne faut pas prétendre que l'on puisse arriver

d'abord au dernier degré de précision. Les méthodes ordinaires présentent déjà d'assez nombreuses difficultés, et les approximations qu'elles donnent sont bien suffisantes pour le moment, à tous ceux qui peuvent avoir l'occasion de les employer au profit de la science.

L'exposition des instruments est le véritable principe de l'exactitude des observations. Il est évident, d'abord, qu'un théorème destiné à donner la température de l'air, doit essentiellement être exposé au nord, il faut, de plus, qu'il soit abrité autant qu'il est possible, du rayonnement que pourraient exercer sur lui des parois voisines; soit verticales, soit inclinées; il faut, enfin, que l'air l'enveloppe et circule librement autour de lui. Cet appareil est exposé directement au nord et ne reçoit par conséquent le soleil que pendant quelques heures, le matin et le soir, depuis l'équinoxe du printemps, jusqu'à l'équinoxe d'automne, car il n'est pas abrité.

Ces dispositions pourraient être remplacées par d'autres, qui n'offriraient pas moins d'avantages.

Détermination des températures moyennes. — Autrefois l'on n'avait pas une notion exacte de ce que l'on doit appeler une température moyenne: on se contentait de choisir la plus haute et la plus basse température de l'année, et leur moyenne ou leur demi-somme était prise pour la température moyenne de l'année: c'est ainsi que procédaient Lahire, Mairan, Maraldi; à l'Observatoire de Paris; Celsius, à Upsal, etc. Réaumur même suivit cette méthode, mais il en reconnut l'inexactitude.

Présentement, on appelle *température moyenne d'un jour*, celle que l'on obtiendrait en ajoutant entre elles les observations faites à *tous les instants* de la journée, et en divisant cette somme par le nombre des instants. Cette définition est purement logi-

que : elle définit ce que l'on cherche, mais elle ne donne pas le moyen de le trouver, car il serait physiquement impossible d'observer à tous les instants de la journée. Nous allons faire comprendre le sens qu'on doit y attacher. Prenons, par exemple, la seconde pour intervalle de temps ; dans un jour de vingt-quatre heures ; il y a 86,400 secondes ; supposons que, dans un jour, on fasse 86,400 observations de seconde en seconde, qu'on les ajoute et qu'on divise leur somme par le nombre 86,400, on aura ainsi la température moyenne du jour ; car les variations thermométriques se font avec une telle lenteur, que le résultat sera certainement le même que si l'on avait observé de demi-seconde en demi-seconde, ou même de centième de seconde en centième de seconde. Il y a plus, c'est qu'il n'est nullement nécessaire d'observer de seconde en seconde, pas même de minute en minute. Par exemple, vingt-quatre observations d'heure en heure, ajoutées entre elles et divisées par 24, donneraient encore le même résultat définitif que les 86,400 observations faites de seconde en seconde. Tout se réduit donc à trouver une température qui soit conforme à la définition précédente, quel que soit le moyen que l'on emploie pour la former.

Or, les nombreuses expériences qui ont été faites montrent, d'une manière certaine, que pour arriver à la vraie température moyenne d'un jour, telle qu'elle vient d'être définie, on peut employer avec un avantage à peu près égal, les deux méthodes suivantes :

1^o Prendre la moyenne de trois observations faites comme il suit :

La première, au lever du soleil ;

La deuxième, à deux heures de l'après midi ;

La troisième, au coucher du soleil.

Par exemple, le 17 janvier 1830, le thermomètre marquait, à Paris :

Au lever du soleil	18 ^o
A deux heures après midi	10
Au coucher du soleil	13
Somme	<u>41</u>

Dont le tiers est de 13^o,6 ; c'est la température moyenne du 17 janvier 1830 ; c'est le minimum de l'année.

2^o Prendre la moyenne des deux températures, maximum et minimum de la journée.

Ainsi le 29 juillet 1830, on avait, à Paris :

Pour le point le plus haut du therm.	31 ^o , 0 a 3 h. 1/2.
Pour le point le plus bas	20 ^o , 5 a 4 du matin.
Somme	<u>51^o, 5</u>

Dont la moitié est 25,7 ; c'est la température moyenne du 29 juillet 1830 ; c'est le maximum de l'année.

Cette seconde méthode est celle que l'on emploie à l'Observatoire de Paris. On se sert, pour cela, du thermomètre que nous avons décrit. Mais l'on obtiendrait à la fois, et beaucoup plus de commodité pour les observations, et sans doute un peu plus d'exactitude, si l'on employait un thermomètre à maxima et minima, tel que celui que nous avons décrit dans ce volume, page 244, fig. 155 et 156.

La température moyenne d'un mois est la somme des températures moyennes de tous les jours du mois, divisée par le nombre de ces jours.

Sur plusieurs registres d'observations, l'on a coutume de diviser les trente jours en trois séries de dix

jours ; alors, après avoir pris la moyenne pour chacune de ces séries, il resté à prendre la moyenne des trois séries. Ainsi, pour le mois de juillet 1830, les moyennes des trois séries étaient :

Du premier au dix.	16,3
Du onze au vingt-uu.	18,5
Du vingt-un au trente-un.	21,8
Somme.	<u>56,6</u>

Dont le tiers est 18,9; c'est la température moyenne du mois de juillet 1830.

La température moyenne de l'année est la somme des températures moyennes de douze mois divisée par douze ; mais il est important de remarquer que l'on arrive au même résultat ou à peu peu près, par deux autres méthodes : 1^e en prenant seulement la moyenne du seul mois d'octobre ; 2^o en prenant la moyenne des températures correspondantes à une seule heure de la journée, qui serait pour notre latitude l'heure de neuf heures du matin ; les deux tableaux suivants donneront une idée de l'exactitude à laquelle on arrive par ces deux méthodes approximatives.

1° *Comparaison des vraies moyennes et des moyennes données par le mois d'octobre.*

NOMS DES LIEUX.	Température moyenne de l'année.	Température moyenne du mois d'octobre.	Température moyenne du mois d'avril.
Caire	22° 4	22° 4	25° 5
Alger	21 0	22 3	17 0
Natchez	18 9	20 2	19 1
Rome	15 8	16 7	13 0
Milan	13 2	14 5	13 1
Cincinnati	12 0	12 7	13 8
Philadelphie	11 9	12 2	12 0
New-Yorck	12 1	12 5	9 5
Pékin	12 6	13 0	13 9
Bade	10 6	11 3	9 5
Londres	11 0	11 3	9 9
Paris	10 6	10 7	9 0
Genève	9 6	9 6	7 6
Dublin	9 2	9 3	7 4
Edimbourg	8 8	9 0	8 3
Gottingue	8 3	8 4	6 9
Franécker	11 3	12 7	10 0
Copenhague	7 6	9 3	5 0
Stockholm	5 7	5 8	3 6
Christiania	5 9	4 0	5 9
Upsala	5 4	6 3	4 3
Québec	5 5	6 0	4 2
Pétersbourg	3 8	3 9	2 8
Abo	5 2	5 0	4 9
Drontheim	4 4	1 0	1 3
Uléo	0 6	3 3	1 2
Uméo	0 7	3 2	1 1
Cap-Nord	0 0	0 0	— 1 0
Enontekies	— 2 8	— 2 5	— 3 0
Nain	— 3 1	+ 0 6	— 2 5

Ce tableau fait voir que les moyennes d'octobre sont assez rapprochées de celle de l'année, même pour des latitudes très différentes; nous avons rap-

porté aussi les moyennes du mois d'avril, afin de montrer, qu'en général, elles sont un peu trop faibles pour représenter les vraies moyennes de l'année.

2° *Comparaison des vraies moyennes et de celles qui seraient données par les observations de neuf heures, pour l'Observatoire de Paris, année 1829.*

Noms des mois.		Moyennes températures des mois.		Moyennes températures de 9 heures du matin.
Janvier	—	2° 0	. . . .	— 2° 6
Février	+	2 ,7	. . . .	+ 2 ,6
Mars	+	5 ,7	. . . .	+ 5 ,6
Avril	+	9 ,8	. . . .	+ 11 ,1
Mai	+	14 ,9	. . . .	+ 16 ,4
Juin	+	17 ,1	. . . .	+ 19 ,1
Juillet	+	18 ,6	. . . .	+ 19 ,3
Août	+	17 ,0	. . . .	+ 18 ,3
Septembre . .	+	13 ,7	. . . .	+ 15 ,0
Octobre . . .	+	10 ,0	. . . .	+ 9 ,9
Novembre . .	+	4 ,7	. . . .	+ 4 ,2
Décembre . .	+	3 ,5	. . . .	+ 4 ,1
Moyennes . .	+	9 ,1	. . . .	+ 9 ,6

La moyenne température, donnée par la méthode directe, est 9° 1, celle qui serait donnée par le mois d'avril serait 9° 8, par le mois d'octobre 10° 0, et, enfin, celle qui est donnée par les moyennes de neuf heures du matin est 9° 6, qui ne s'écarte de la vraie moyenne que d'un demi-degré; sur quoi l'on peut remarquer que, si les observations de neuf heures sont bonnes pour donner la moyenne de l'année, elles seraient inexactes pour donner la moyenne des mois chauds, et trop faibles pour les mois froids. Enfin, l'on ne cherche la température moyenne de l'année, que pour arriver à la température moyenne du lieu.

Celle-ci est la moyenne de toutes les moyennes annuelles. Il faut de nombreuses années d'observations pour obtenir un résultat qui approche un peu de la vérité, et même cette vérité n'existe que sous une condition : elle suppose que les changements de température auxquels une localité se trouve soumise, sont des changements qui s'accomplissent par oscillation et non par progression. Si un climat pouvait être d'une manière indéfinie progressivement chaud ou froid, il ne faudrait pas chercher sa température ; elle serait irrégulière, sans doute, mais elle existerait ; tout phénomène durable est soumis à une loi. Les observations tendant à démontrer que tous les climats de la terre sont stables, et que leurs vicissitudes ne sont que des périodes ou des oscillations plus ou moins étendues. Il existe donc une température moyenne propre à chaque lieu, et c'est là une donnée fondamentale que nous avons à déterminer. Dans les climats où les observations de plusieurs années successives donnent des moyennes très différentes, il faut un très grand nombre d'années pour obtenir une température moyenne qui approche de la vérité. S'il arrive, par exemple, que la plus grande différence entre les moyennes de vingt années consécutives s'élève jusqu'à 5, on pourra supposer, avec quelque probabilité, que cent années d'observations donneront une moyenne qui sera encore en erreur de $\frac{5}{100}$ de degré ou de $\frac{1}{20}$ de degré. Au contraire, si la plus grande différence entre ces moyennes ne s'élève qu'à 1, on pourra supposer que cent années d'observations donneront une moyenne dont l'erreur ne dépassera pas $\frac{1}{100}$ de degré. Ces considérations deviendront plus faciles à comprendre par un exemple. Voici, d'après M. Bouvard (Mémoires sur les observations météorologiques, faites à l'Observatoire royal de Paris, 1827),

les moyennes annuelles de Paris pour vingt-une années, de 1806 à 1826 inclusivement.

1806	12°	1
1807	10	8
1808	10	3
1809	10	6
1810	10	6
1811	12	0
1812	9	9
1813	10	2
1814	10	8
1815	10	5
1816	9	4
1817	10	4
1818	11	4
1819	11	1
1820	9	8
1821	11	1
1822	12	1
1823	10	4
1824	11	2
1825	11	7
1826	11	4
Moyenne définitive.	10°	8

Pendant ces vingt-une années, la plus basse moyenne appartient à 1816 : elle est de 9° 4; la plus haute appartient à 1806 et à 1822: elle est de 12° 1; leur différence, qui est la différence maximum, s'élève à 2° 7; ainsi la moyenne 10° 8, qui résulte des vingt-une années, est en erreur probable de 2° 7, divisé par 21, c'est-à-dire 0°, 13 si l'on pouvait admettre que toutes les causes accidentelles qui modifient les températures annuelles se sont développées pendant la durée de cette période de 21 ans, et qu'on a touché les deux limites extrêmes entre lesquelles s'accomplit l'oscillation des températures moyennes, il

serait assuré que cent années d'observations donneraient la véritable moyenne de Paris avec une approximation de $2^{\circ} 7$ divisé par 100, ou environ 3 centièmes de degrés. Mais si, pendant le cours d'un siècle, on tombe sur une moyenne un peu plus basse que $9^{\circ} 4$ ou un peu plus haute que $12^{\circ} 1$, on sera certain que la moyenne de Paris, déterminée par ces cent années, se trouvera en erreur de plus de trois centièmes de degrés.

Après avoir indiqué les procédés simples et précis par lesquels on peut arriver à connaître la température moyenne d'un lieu, nous allons essayer de présenter dans leur ensemble et de discuter les résultats qui ont été obtenus jusqu'à ce jour sur un grand nombre de points du globe. Nous prendrons pour guide le grand travail que M. Humboldt a publié sur ce sujet dans le troisième volume des Mémoires de la Société d'Arcueil. Nous emprunterons aussi plusieurs résultats consignés dans les autres ouvrages de cet illustre voyageur.

Discussion des températures moyennes. — Lignes isothermes. Sur un même méridien, la température moyenne diminue en allant de l'équateur vers les pôles, et, sur une même verticale, la température diminue avec l'élévation absolue. Ainsi la latitude et la hauteur au-dessus du niveau de la mer, sont les deux causes générales qui déterminent la température moyenne d'un point de la terre; mais l'influence de ces causes est modifiée par une foule d'influences accidentelles ou locales: la distance à la mer, la présence des montagnes, la nature du sol, sa culture et son inclinaison, la direction des vents et tous les phénomènes atmosphériques, sont autant de causes secondaires, tantôt constantes et tantôt variables, qui modifient sans cesse les deux causes générales. On conçoit, dès lors, qu'il devient

très difficile d'établir de l'ordre au milieu de cette confusion, et de soumettre à une loi commune des phénomènes si variés. Voici cependant quelques définitions qui nous serviront à rapprocher les résultats et à les embrasser dans une seule pensée.

Concevons, par exemple, qu'un voyageur fasse le tour du monde, en partant de Paris, et qu'il passe par tous les points de l'hémisphère boréal, pour lequel la température moyenne est, comme à Paris, de $10^{\circ}, 6$; la route qu'il aura parcourue formera, autour de la terre, une courbe d'égale chaleur; c'est ce que l'on nomme une ligne isotherme. Ainsi une ligne isotherme est celle qui passe par tous les points de la surface de la terre, pour lesquelles la température moyenne est la même. La ligne isotherme de $10^{\circ}, 6$ est loin de coïncider avec la parallèle de Paris; elle est irrégulière et sinueuse, c'est-à-dire qu'elle passe par des points dont la latitude est très différente de la latitude de Paris, mais, suivant d'autres lois qui lui sont propres. L'espace compris entre deux lignes isothermes est ce que l'on appelle une bande isotherme ou une zone isotherme ou une zone isotherme de 10° à 5° est celle qui est comprise entre les lignes isothermes de 10° et de 5° .

Nous nous bornerons ici à diviser l'hémisphère boréal en six zones isothermes, savoir :

1 ^o	La zone de	30 ^o	à	23 ^{o}, 5}
2 ^o	—	de	23,5	20
3 ^o	—	de	20	15
4 ^o	—	de	15	10
5 ^o	—	de	10	5
6 ^o	—	de	5	0

Zône torride. Entre le troisième degré de latitude boréal et le troisième degré de latitude

austral, on ne connaît qu'une seule détermination de température moyenne qui semble précise; c'est celle de Saint-Louis de Maranham $27^{\circ},4$. Pour les latitudes inférieures à $10^{\circ} 30'$ on ne connaît, au sud, que la température moyenne de Batavia, $26,9$, et au nord celle de Cumana, $27,7$.

On conclut de ces données que la température moyenne est sous l'équateur comprise entre $27,5$ et 28 . Cette moyenne est modifiée, comme nous le verrons, par la grande étendue des mers équatoriales; sous la ligne, le continent n'occupe que le sixième de la circonférence de la terre. Ainsi en se rapprochant des tropiques, et particulièrement du tropique du cancer, nous ne devons pas être étonné que l'on trouve, comme à Pondichéri, des températures moyennes qui dépassent sensiblement celle de l'équateur.

Cependant les lignes isothermes $23,5$ sont très peu sinueuses; tout semble indiquer qu'elles ne font que de très petites excursions de part et d'autre des tropiques.

Zône de $23,5$ à 20 . Cette zône embrasse des latitudes très différentes: Alger, qui se trouve à peu près sous le méridien de Paris, est un des points qui s'avance le plus vers le nord, et l'on reconnaît déjà dans les lignes isothermes qui avoisinent 20° une tendance à être convexe vers le pôle dans leurs pointes qui correspondent au centre de l'Europe.

Zône de 20 à 15 . Cette zône passe par les côtes de France, sur tout le littoral de la Méditerranée, par une latitude moyenne de 43 , et ensuite elle se rabaisse soit à l'est, vers Nangacki et les côtes du Japon; soit à l'ouest, vers Natchez, sur les bords du Mississipi, auprès du golfe du Mexique.

Zône de 15 à 10 . Si l'on prend encore, dans cette zône, les villes de France dont la température

moyenne est de 12 à 13 , on voit que leurs latitudes sont plus grandes que celles des points de même température, soit à l'est comme Pékin, soit à l'ouest comme Cincinnati, New - York et Philadelphie. Ainsi dans la zone tempérée, à latitude égale, le climat d'Europe est plus chaud que les climats de l'Asie et de l'Amérique.

Zône de 10 à 5 . En comparant les températures moyennes Fayetteville et Copenhague, celles de Quebec et de Stockholm, celles de Kendal et de Berlin, on reconnaîtra de plus en plus la différence qui existe entre le climat du méridien de Paris et les climats qui sont à l'est et à l'ouest de ce méridien.

Zône de 5 à 0°. Il est à regretter que l'on ne possède pas, dans cette zone, quelques séries d'observations dans la Sibérie et dans le nord de l'Amérique. Ces observations seraient d'autant plus intéressantes qu'elles permettraient de tracer, avec quelque précision, les limites où va s'éteindre la végétation.

Régions polaires. Les températures des régions polaires contenues dans le tableau précédent, sont déduites des observations de trois grands navigateurs qui ont fait de célèbres excursions dans ces parages; le capitaine Franklin, en 1819, 1820 et 1821; le capitaine Barry, en 1819 et 1820, puis en 1821, 1822 et 1823 le capitaine Scoresby, en douze années, depuis 1807 à 1818. Ces moyennes annuelles ont été déduites, tantôt des observations journalières continuées pendant toute l'année, tantôt des observations de quelques mois seulement. On sera sans doute frappé de la différence prodigieuse qui existe, à la latitude égale, entre les températures trouvées en pleine mer et celles qui ont été observées en différents ports, comme Melleville

Island ; puisqu'en mer , à 70° , la température moyenne est de 18° . Cette différence est due , en partie , à ce que la première moyenne est déduite des mois d'avril , mai , juin et juillet , tandis que la dernière résulte d'observations directes. Mais , certainement , M. Scoresby n'a pas pu se tromper beaucoup dans ses déductions , et il reste bien constant que , sur les continents polaires , l'atmosphère est plus froide que la mer. Si l'on part de ces données , pour appliquer quelques formules approximatives , on peut présumer , avec beaucoup de raison , que la température du pôle lui-même doit être comprise entre 25 et 30° au-dessous de 0° .

Après avoir rapporté l'ensemble des résultats connus sur les températures moyennes des divers lieux de la terre , nous avons à nous occuper de la distribution de la chaleur dans un même lieu , suivant les jours , les mois et les saisons ; car tout le monde sait que deux lieux situés sur la même ligne isotherme , et pendant des températures moyennes parfaitement égales , peuvent cependant avoir des climats excessivement différents , par leur production végétales et par l'influence qu'ils exercent sur l'économie animale.

Des températures moyennes des jours , des mois et des saisons , des températures extrêmes et des climats.

Les climats sont caractérisés , en ce qui dépend de la chaleur , et par la température moyenne de l'année et par les variations que la température des jours , des mois et des saisons peuvent éprouver. On peut dire que le climat est brûlant dans la zone torride , chaud dans la zone de $23^{\circ} 5$ à 2° , doux dans la zone de 20 à 15° , tempéré dans la zone de 20 à 15° , tempéré dans la zone de 15 à 10° , froid dans la zone de 10 à 5° à 0 et glacé dans la zone dont la

température moyenne est au-dessous de 0. Mais les climats qui appartiennent à la même zone ou à la même ligne isotherme, doivent se distinguer entre eux, et nous proposerons d'appeler climats constants, ceux qui n'offrent pas de grandes différences dans le cours de l'année entre les extrêmes de la chaleur et du froid, climats variables, ceux qui offrent d'assez grandes différences, et d'après Buffon et M. de Humboldt, nous appellerons climats excessifs ceux qui offrent de très grandes différences. Le tableau suivant offrira un exemple de cette distinction :

NOMS DES LIEUX.	Température moyenne de l'année.	Température moyenne du mois le plus chaud.	Température moyenne du mois le plus froid.	DIFFÉRENCES.
Funchal	20, 2	24, 2	17, 2	6, 4
Saint-Malo. . .	12, 3	19, 4	5, 4	14, 0
Paris.	10, 6	18, 5	2, 3	16, 2
Londres	10, 2	18, 0	3, 2	15, 8
New-Yorck. . .	12, 1	27, 1	3, 7	30, 8
Pékin.	12, 7	29, 1	4, 1	33, 2

Funchal a un climat constant ; nous aurons occasion de remarquer que ce caractère appartient presque toujours aux climats des îles.

Saint-Malo, Londres et Paris offrent un exemple

de climats variables, tandis que New-Yorck et Pékin ont évidemment des climats excessifs.

Il suffit de réfléchir un instant sur l'influence prodigieuse que la chaleur et le froid exercent sur tous les êtres organisés, pour concevoir qu'à température moyenne égale, les productions ne peuvent être les mêmes dans les climats excessifs et dans les climats constants et variables.

Ce n'est pas seulement par ces distinctions tranchées, que les climats peuvent être caractérisés : s'il suffit de quelques degrés de plus pour faire mûrir les fruits, il est évident aussi que la durée et l'époque des grandes chaleurs et des grands froids sont des éléments indispensables à la connaissance des climats. Ainsi les observateurs ne doivent pas songer seulement à déterminer les températures moyennes de l'année et les températures moyennes des mois les plus chauds et les plus froids ; mais ils doivent parvenir enfin à déterminer la distribution de la chaleur dans tout le cours de l'année, et pour cela les observations journalières sont nécessaires.

Ces observations, une fois faites, il ne reste plus qu'à les combiner d'après de bonnes méthodes, pour arriver aux températures moyennes des jours, des mois et des saisons.

Nous ne terminerons pas cet article sans rapporter encore, d'après M. Arago, les extrêmes de chaleur et de froid qui ont été observés à l'Observatoire de Paris, et les plus hautes températures de l'air qui ont été observées dans divers climats.

Maximum de chaleur.

DATES.		TEMPÉRATURE.	
ANNÉES.	MOIS.	Dég. Réaumur.	Dég. centigr.
1706	8 août.	+ 28,2	+ 35,3
1735	7 juillet.	+ 28,5	+ 35,6
1754	14 juillet.	— 28,0	+ 35,0
1755	14 juillet.	+ 27,8	+ 34,7
1793	8 juillet.	+ 30,7	+ 38,4
1793	16 juillet.	+ 29,8	+ 37,3
1800	18 août.	+ 28,4	+ 35,5
1802	8 août.	+ 29,1	+ 36,4
1803	8 août.	+ 29,4	+ 36,7
1808	15 juillet.	+ 29,0	+ 36,2
1818	24 juillet.	+ 27,6	+ 34,5

Maximum du froid.

1709	13 janvier.	— 18,5	— 23,1
1716	<i>Id.</i>	— 15,0	— 18,7
1729	<i>Id.</i>	— 12,2	— 15,3
1742	10 janvier.	— 13,6	— 17,0
1748	<i>Id.</i>	— 12,2	— 15,3
1754	8 janvier.	— 11,3	— 14,1
1755	<i>Id.</i>	— 12,5	— 15,6
1767	<i>Id.</i>	— 12,2	— 15,3
1768	<i>Id.</i>	— 13,7	— 17,1
1771	<i>Id.</i>	— 10,9	— 13,6
1776	29 janvier.	— 15,3	— 19,1
1783	30 décembre.	— 15,3	— 19,1
1789	31 décembre.	— 17,8	— 22,3
1795	25 janvier.	— 18,8	— 23,5
1798	26 décembre.	— 14,1	— 17,6
1820	11 janvier.	— 11,4	— 14,3
1823	11 janvier.	— 11,7	— 14,5

*Tableau des plus hautes températures de l'air
observées en divers climats.*

NOMS DES LIEUX.	Maximum de chaleur.	Noms des observateurs.
Équateur	+38,4	Humboldt.
Surinam	32,4	
Oasis de Mourzouk	54	Ritchie et Lyon.
Pondichéry	44,7	Le Gentil.
Madras	40,0	Roxburgk.
Beit-el-Fakeh.	38,1	Nieburg.
Martinique	35,0	Chauvalon.
Manille	43,7	Le Gentil.
Antougille (Madagascar).	45,0	<i>Id.</i>
Guadeloupe	38,4	Le Gaux.
Véra-Cruz	35,6	Orta.
Ile de France	32,6	Cossigny:
Philæ (Égypte).	43,1	Coutille.
Le Caire	40,2	<i>Id.</i>
Bassora.	45,3	Beauchamp.
Paramatha (Nouv.-Holl.)	41,1	Gener Brisbane.
Cap de Bonne-Espérance.	43,7	Lacaille.
Vienne (Autriche)	35,9	Broquin.
Strasbourg	33,9	Herrensneider
Paris	38,4	
Varsovie	33,8	Deljue.
Franeker (Hollande).	34,0	Van-Svinden.
Copenhague.	33,7	Bugge.
Nain-Labrador	27,8	De la Trobe.
Stockholm	34,4	Ronnos.
Pétersbourg	30,6	Euler
Abo	34,2	Léche.
Island (Ejasjord)	20,9	Van-Scheels.
Hindoën (Norwège)	25,0	Schytte.
Ile Melville.	15,6	Parry.

Températures à diverses profondeurs au-dessous du sol.

De l'existence d'une couche invariable, située à une certaine profondeur au-dessous du sol, et dans laquelle la température reste la même depuis des siècles. Dès 1671 Cassini avait reconnu que la température des caves de l'Observatoire de Paris n'éprouve aucune variation dans le cours d'une année. En 1730, Lahire avait observé le même fait; mais M. le comte de Cassini, aujourd'hui membre de l'Académie des sciences, conçut, le premier, tout ce qu'il y avait d'important dans ce phénomène remarquable; en 1771, il commença quelques séries d'expériences pour l'étudier, et, le 4 juillet 1783, il établit enfin, dans les caves de l'Observatoire, de concert avec Lavoisier, un appareil très sensible qui devait donner des résultats décisifs. Cet appareil concave et réparé par les soins de M. Bouvard, n'a éprouvé aucun changement depuis plus de trente-deux ans. Il est disposé de la manière suivante: sur le sol des caves, à 85 pieds au-dessous du pavé de l'Observatoire, s'élève un massif en pierre de 4 pieds de hauteur, portant un grand vase en verre VV'' (Fig. 353) de 18 pouces de hauteur sur 12 à 15 pouces de diamètre. C'est dans ce vase, rempli de sable très fin, qu'est ajusté le thermomètre TT'. Son échelle HH' est en verre; elle est maintenue dans un cadre en cuivre, qui est lui-même fixé sur des parois de la cloche, au moyen des traverses S, S' S'', et des agraffes G, G' G''. Ce thermomètre a été construit, autrefois, par Lavoisier, avec du mercure bien purifié; la boule a environ 2 pouces et demi de diamètre; le tube est très fin; un degré occupe sur sa longueur 42 ou 43 lignes, ainsi l'on peut aisément apprécier les demi-centièmes de degré qui occupent encore les $\frac{3}{4}$ d'un millimètre en-

viron. Comme ce thermomètre ne marque que 15 ou 16° au degré au-dessous de 0°, on a ménagé, au-dessus de la tige en R, un petit réservoir pour recueillir l'excédant du mercure, si la température venait à s'élever au-dessus de 16°. Les anciennes observations de M. Cassini et les observations assidues faites depuis trente-deux ans par M. Bouvard, montrent avec évidence que, depuis plus de cinquante ans, la température des caves de l'Observatoire est parfaitement constante, et égale à 11°, 82; car, dans toute cette période, le thermomètre n'a pas varié de 25 centièmes de degrés au dessus ou dessous 11°, 82, et l'on a reconnu, depuis, qu'un courant d'air, accidentellement établi dans les souterrains pour les travaux des carrières de Paris, avait été la cause de ces oscillations.

Paris est le seul lieu de la terre pour lequel on ait une aussi belle série d'observations exactes et non interrompues pendant plus d'un demi-siècle; mais un phénomène qui se soutient avec une telle régularité, ne peut pas être un phénomène accidentel, et nous en concluons que, dans tous les lieux, il existe, à une certaine profondeur au-dessous du sol, un point dont la température reste constante avec les années, quelles que soient les variations extrêmes qui se développent et qui se succèdent à la surface du sol.

La série de ces points de température invariable forme, autour du globe, une surface que nous appellerons couche invariable; c'est à cette couche que viennent s'éteindre toutes les variations brusques ou périodiques que la croûte supérieure de la terre éprouve par les alternations du jour et de la nuit, par le changement de vent ou par le renouvellement des saisons.

Nous devons remarquer, qu'à Paris, il y a plus

d'un degré de différence entre la température moyenne $10^{\circ},6$ et la température de la couche invariable $11^{\circ},82$. Malheureusement, faute d'avoir des observations à diverses profondeurs, dans d'autres climats, nous ne pouvons rien statuer par l'expérience sur les rapports ou les différences qui existent ailleurs entre ces deux éléments. Nous ne pouvons rien statuer non plus sur la profondeur précise à laquelle il faut descendre pour arriver à la couche invariable ; mais la théorie indique que partout la température invariable ne doit que très peu s'écarter de la température moyenne, et elle indique aussi que partout il faut, pour la trouver, descendre à une profondeur de 40, 60 ou 80 pieds.

Ainsi, nous sommes conduits à concevoir au-dessous du sol et tout autour de la terre, une certaine couche dont chaque point conserve perpétuellement la même température, qui est à peu près la température moyenne du point de la surface auquel il correspond verticalement ; mais en même temps nous devons concevoir que cette couche invariable n'a pas une courbure régulière. Les plaines, les montagnes, les vallées, la nature du sol, les lacs, les mers et mille autres causes peut-être lui impriment des sinuosités particulières que l'expérience seule pourra nous révéler un jour.

TABLE

DES MATIÈRES.

INTRODUCTION.	Pag. 1
CHAPITRE I ^{er} .	
DÉFINITION DE LA PHYSIQUE.	35
CHAPITRE II.	
DE LA MATIÈRE ET DE SES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES.	40
Étendue.	41
Impénétrabilité.	44
Porosité.	47
Divisibilité.	62
Compressibilité.	65
Élasticité.	73
Balance de torsion.	79
Fusil à vent.	81
Fontaine de compression.	<i>id.</i>
Fontaine de Héron.	<i>id.</i>
Ludion.	82
Machines soufflantes.	83
Machine pneumatique.	<i>id.</i>
Machine de compression.	87
Inertie.	94
Pesanteur.	95

CHAPITRE III.

STATIQUE.

Centre de gravité.	101
Équilibre des machines.	110
Du levier.	111
Levier du premier genre.	112
Balances.	114
Levier du second genre.	117
Levier du troisième genre.	<i>id.</i>
De la poulie.	130
Des roues dentées.	133
Du treuil.	136
Du cabestan.	<i>id.</i>
Du cric.	<i>id.</i>
Du plan incliné.	137
Du coin.	138
De la vis.	139

CHAPITRE IV.

DE L'HYDROSTATIQUE.

Pesanteur et équilibre d'un liquide.	140
Équilibre des liquides.	142
Pesanteur et équilibre des fluides de densités différentes.	145
Baromètre.	147
Syphon.	153
Pesanteur et équilibre des solides plongés dans les liquides.	154
Corps flottants.	156
Aréomètres	157
Aréomètre à volume variable.	160
Densité des solides.	161

CHAPITRE V.

PHÉNOMÈNES CAPILLAIRES,	163
-------------------------	-----

CHAPITRE VI.

DYNAMIQUE.

Mouvement composé rectiligne.	168
Mouvement curviligne composé.	169
Quantité de mouvement.	170
Choc des corps non élastiques.	171
Corps élastiques.	<i>id.</i>
Forces centrales.	173

CHAPITRE VII.

HYDRODYNAMIQUE ET HYDRAULIQUE.

Pression constante.	176
Le trop plein.	177
Flotteur de Prony.	<i>id.</i>
Vase de Mariotte.	178
Théorème de Toricelli.	179
Contraction de la veine.	180
Ajutages.	<i>id.</i>
Unité de mesure dans la distribution des eaux.	181
Jets d'eau.	<i>id.</i>
Réaction produite par l'écoulement des fluides.	182
Pompes.	183
Bélier hydraulique.	186
Tuyaux de conduite.	188
Écoulement des liquides par les tubes très fins.	189
Écoulement de l'eau dans les canaux.	191
Mouvement des gaz.	193
Gazomètres.	194

CHAPITRE VIII.

LOIS DE LA CHUTE DES CORPS.	195
Plan incliné de Galilée.	200
Pendule.	201

CHAPITRE IX.

ACOUSTIQUE.

Production et propagation du son.	206
Vitesse du son.	209
Onde sonore.	213
Bruit et son musical.	214
Diminution de l'intensité du son.	215
Réflexion du son.	217
Porte-voix.	219
Cornet acoustique.	<i>id.</i>
Vibrations des cordes élastiques.	<i>id.</i>
Vibrations des verges sonores.	223
Vibrations des plaques et des membranes.	227
Communication des mouvements vibratoires entre les corps solides.	229
Instruments à vent.	232
Organe de l'ouïe.	235
Organe de la voix.	236

CHAPITRE X.

CHALEUR.

Construction du thermomètre à mercure.	240
Thermomètre à air.	443
Thermomètre différentiel de Leslie.	244
Thermoscope de Rumford.	<i>id.</i>

§ I.

<i>Dilatations.</i> —Dilatation des corps solides.	245
Pendule compensateur.	247
Thermomètre de Bréguet.	249
Pyromètre de Wedgwood.	250
Dilatation des liquides.	251
Dilatation des gaz.	253

§ II.

<i>Conductibilité.</i> — Conductibilité des corps solides.	254
Conductibilité des corps liquides.	255
Conductibilité des corps gazeux.	<i>id.</i>

§ III.

Calorique rayonnant.	256
Pouvoir rayonnant des corps.	257
Pouvoir absorbant des corps.	258
Pouvoir réfléchissant des corps.	259

§ IV.

Lois du refroidissement des corps.	260
Équilibre de température.	261

§ V.

<i>Changement d'état des corps.</i> — Fusion des corps solides.	262
Ébullition des liquides.	263
Froid produit par l'évaporation des liquides.	264

§ VI.

<i>Vapeurs.</i> — Force élastique des vapeurs.	266
Densité des vapeurs.	271
Mélange des vapeurs avec les gaz.	272
Évaporation des liquides.	273
Condensation des vapeurs.	274

§ VII.

Hygromètres.	274
Brouillards et nuages.	276
Rosée.	277
Gelée blanche:	278
Formation artificielle de la glace au Bengale.	<i>id.</i>

§ VIII.

Capacité des corps pour le calorique.	279
Calorimètre de Laplace et Lavoisier.	281
Calorimètre de Rumford.	284

§ IX.

Machines à vapeur.	286
--------------------	-----

§ X.

<i>Sources du calorique.</i> — Combinaisons chimiques.	288
Pression.	289
Frottement et choc.	290
Électricité.	<i>id.</i>
Froid produit par la fusion des corps.	<i>id.</i>
Mélanges frigorifiques.	<i>id.</i>
Chaleur animale.	292

CHAPITRE XI.

ÉLECTRICITÉ.

Historique.	299
-------------	-----

§ I^{er}.

Attractions et répulsions.	300
Corps conducteurs et non conducteurs.	<i>id.</i>
Électricité de nature différente.	301
État naturel des corps.	303

§ II.

Lois que suivent les attractions et les répulsions électriques.	304
---	-----

§ III.

De la déperdition de l'électricité par l'air et les supports.	307
Perte par l'air.	308
Perte par les supports.	312

§ IV.

Distribution de l'électricité à la surface des corps conducteurs isolés.	313
Distribution de l'électricité sur les corps de diverses formes.	314
Partage du fluide électrique entre les corps en contact.	<i>id.</i>
Distribution du fluide électrique à la surface des corps en contact.	315

§ V.

Électricités combinées, leur séparation à distance.	316
Électroscopes.	320
Électroscope d'Haüy.	321
Électromètre à cadran.	<i>id.</i>
Électromètre à feuilles d'or.	322
Électromètre à pailles.	<i>id.</i>
Électromètre à baïes de sureau.	323
Électroscope de Coulomb.	<i>id.</i>
Électrophore.	<i>id.</i>
Machines électriques.	325

§ VI.

Électricités dissimulées.	330
Condensateur en taffetas.	332
Électromètre condensateur.	<i>id.</i>
Bouteille de Leyde.	333
Charge par cascade.	334
Batterie électrique.	335

§ VII.

Électricité atmosphérique.	336
Paratonnerres.	340
Effets mécaniques de l'électricité.	341
Action de l'électricité sur l'économie animale.	342

CHAPITRE XII.

GALVANISME.

De l'électricité développée au contact de substances hétérogènes.	343
Construction de la pile de Volta.	345
Effets physiques et chimiques de la pile.	347
Décomposition de l'eau.	348
Effets physiologiques de la pile.	350
Électricité produite par la chaleur.	352
Électricité produite par la pression.	<i>id.</i>
Électricité développée dans les combinaisons chimiques.	354
Phénomènes thermo-électriques.	<i>id.</i>
Poissons électriques.	355

CHAPITRE XIII.

DU MAGNÉTISME.

Phénomènes généraux.	357
Loi que suivent les attractions et répulsions magnétiques.	360
Moyens de faire des aimants.	<i>id.</i>
Méthode de la double touche.	361
Points conséquents.	362
Armatures.	<i>id.</i>
Distribution du magnétisme.	363
Action magnétique du globe. — Déclinaison.	366
Variations diurnes.	367

CHAPITRE XIV.

ÉLECTRO-DYNAMIQUE.

Action directrice.	368
Action répulsive et attractive.	369
Action réciproque des courants électriques.	370
Action de la terre sur les courants voltaïques.	371
Multiplicateur.	373
Description et usage des appareils électro-dynamiques.	374

CHAPITRE XV.

DE L'OPTIQUE.

Notions générales.	395
Vitesse de la lumière.	396
Propagation de la lumière.	397
Décroissement de l'intensité de la lumière.	<i>id.</i>
De l'ombre.	<i>id.</i>

§ I^{er}.

<i>Catoptrique.</i> —Réflexion de la lumière.	398
Miroir plan.	<i>id.</i>
Position de l'image d'un corps derrière une surface plane réfléchissante.	399
Miroirs courbes.	400
Miroir concave.	<i>id.</i>
Miroir convexe.	402
Détermination des foyers.	<i>id.</i>
Combustion opérée par les miroirs.	403

§ II.

<i>Dioptrique.</i> —Réfraction de la lumière.	404
Lois de réfraction.	<i>id.</i>
Pouvoirs réfringents des différents corps.	408

	Pag.
Lentilles.	410
Détermination des foyers.	412
Combustion opérée par les lentilles convergentes.	413
Images données par les lentilles convergentes.	414
Moyen de corriger les vues trop longues.	416
Images données par les lentilles divergentes.	<i>id.</i>
Moyen de corriger les vues trop courtes.	417

§ III.

Décomposition de la lumière.	418
Propriétés calorifiques des rayons.	420
Propriétés chimiques des rayons.	421
Propriétés magnétiques.	<i>id.</i>
Récomposition de la lumière.	422
Teintes composées, produites par le mélange des couleurs simples.	<i>id.</i>
De l'arc-en-ciel.	423
De l'achromatisme.	426
Couleurs données par les lames minces.	427
Anneaux colorés.	428
Couleur des corps.	429

§ IV.

De l'œil et de la vision.	430
Structure de l'œil.	<i>id.</i>
De la vision.	432
Angle visuel.	434
Moyens de remédier aux défauts de la vue.	436

§ V.

De quelques instruments d'optique.	437
Loupe ou microscope simple.	<i>id.</i>
Microscope composé.	<i>id.</i>
Microscope solaire.	439

	Page.
Mégascope.	439
Lanterne magique.	440
Fantasmagorie.	441
Chambre noire.	442
Camera lucida.	id.
Lunette astronomique.	443
Lunette terrestre.	444
Lunette de Galilée.	id.
Télescope newtonien.	445
Héliostat.	446

§ VI.

De la double réfraction.	447
Micromètre.	449
Polarisation fixe de la lumière.	450
Polarisation mobile.	452
Diffraction de la lumière.	454
Observation générale.	455

CHAPITRE XVI.

MÉTÉOROLOGIE.	456
---------------	-----

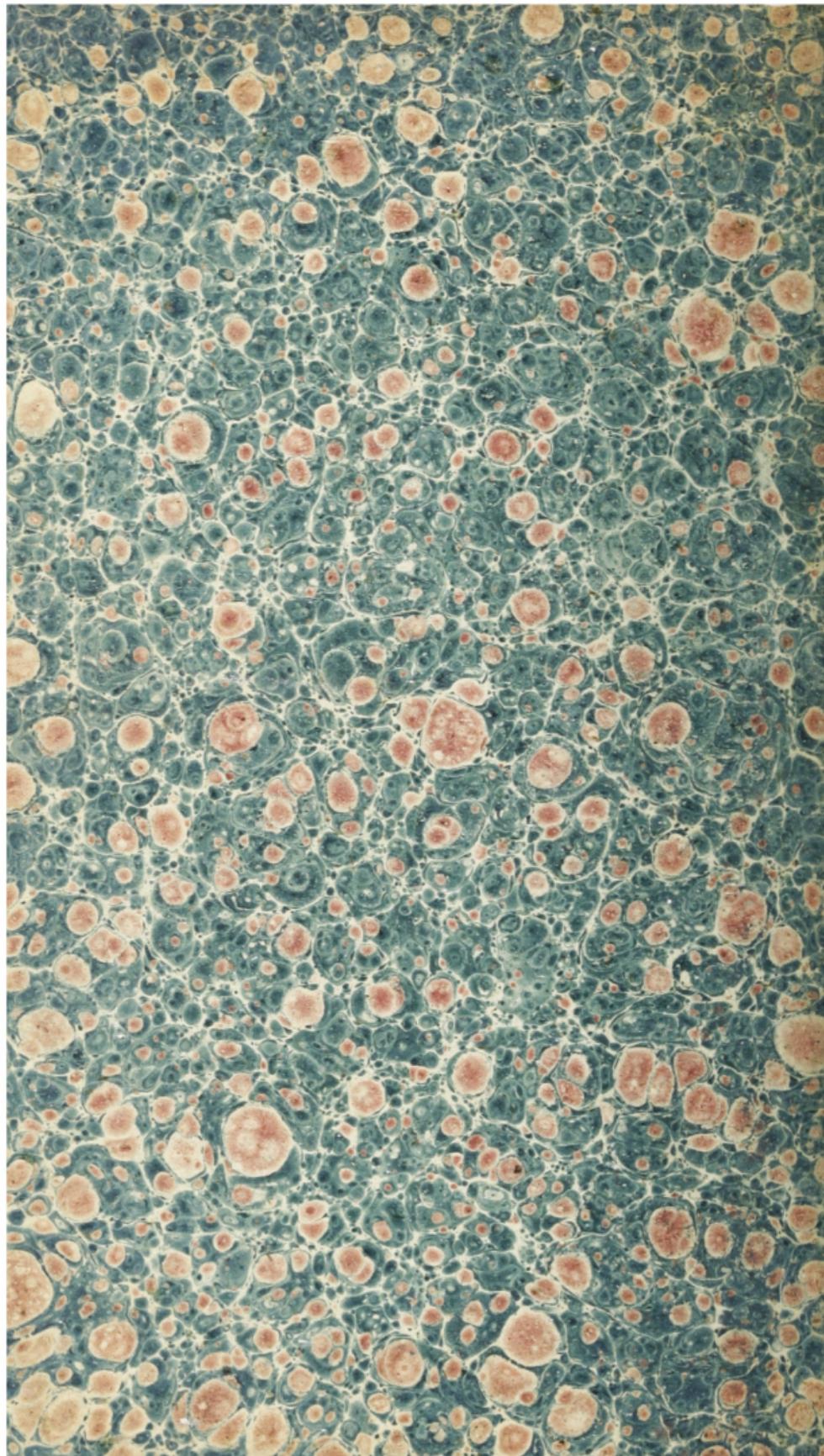
§ I^{er}.

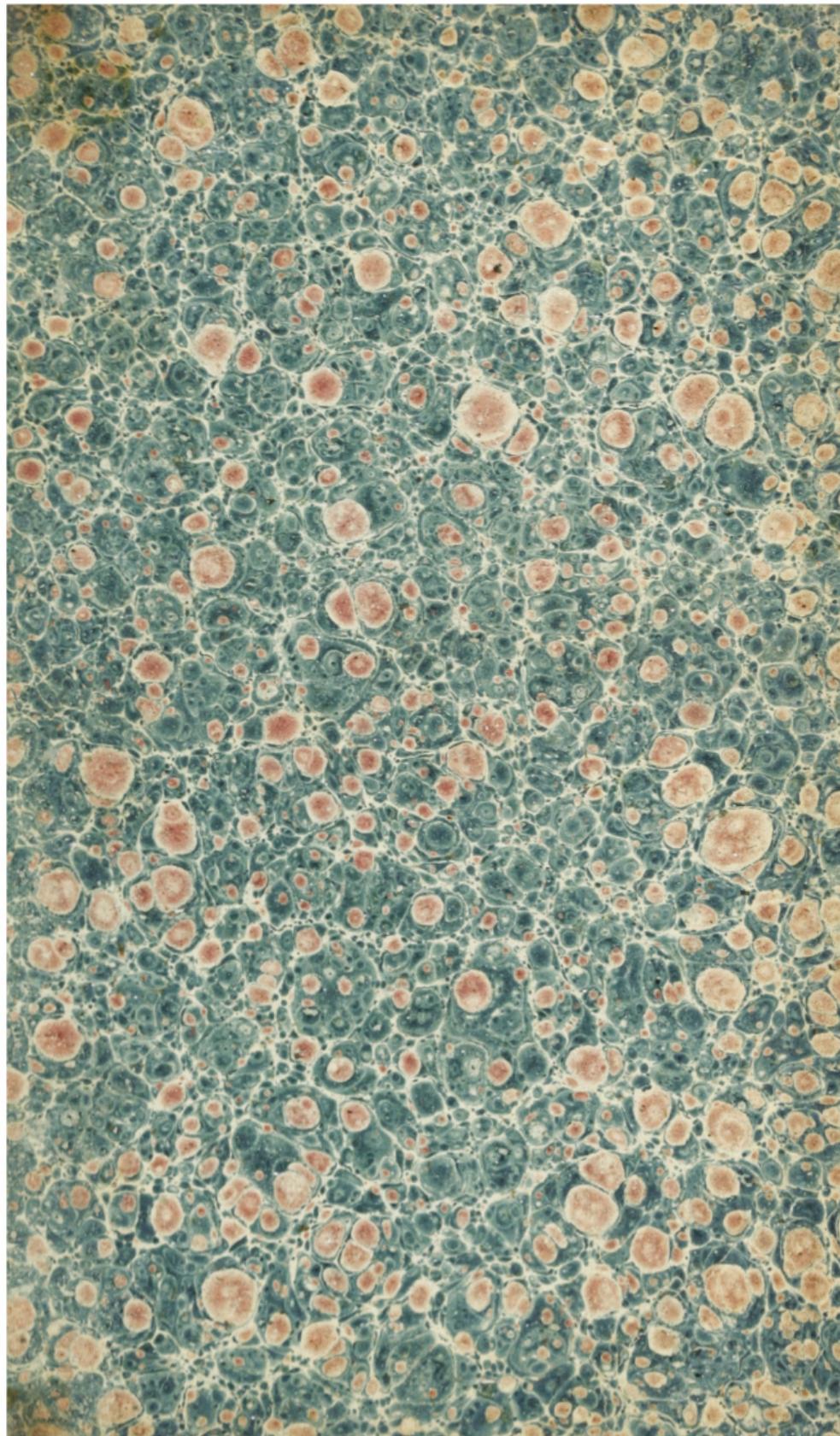
<i>Instruments.</i> — Thermomètre différentiel.	457
Pyroscopie.	459
Photomètre.	460
Hygromètre.	463
Atmomètre.	476
Æthrioscopie.	479
Additions.	488
Ombromètre ou Hydromètre.	504
Anémomètre.	505

§ II.

Atmosphère.	506
Vents.	507
Trombes.	513
Trombes terrestres.	<i>id.</i>
Trombes marines.	516
Nuages et brouillards.	518
Pluie, rosée et gelée blanche.	519
Neige.	<i>id.</i>
Grêle.	520
Chaleur terrestre.	<i>id.</i>

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.





530.2 J501 c.1

Manuel complet de physique et de mt



086 625 309

UNIVERSITY OF CHICAGO