

LE LIVRE
DE LA NATURE.

IMPRIMERIE DE A. MERTENS & FILS,
BRUXELLES, 22, RUE DE L'ESCALIER.

Déposé.

LE LIVRE DE LA NATURE

OU

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES DE PHYSIQUE, D'ASTRONOMIE,
DE CHIMIE, DE MINÉRALOGIE, DE GÉOLOGIE, DE BOTANIQUE, DE PHYSIOLOGIE ET DE ZOOLOGIE

PAR LE D^r FR. SCHOEDLER,

Directeur de l'École industrielle à Mayence.

TRADUIT D'APRÈS LA QUATORZIÈME ÉDITION ALLEMANDE, AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR
ET DE SES AYANTS DROIT,

PAR ADOLPHE SCHELER,

PROFESSEUR A L'INSTITUT AGRICOLE DE GEMBOUX.

TOME PREMIER.

PHYSIQUE, GÉOGRAPHIE PHYSIQUE, ASTRONOMIE ET CHIMIE.

Avec 361 gravures intercalées dans le texte, ainsi qu'un planisphère céleste
avec disque régulateur.

BRUXELLES,

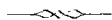
CHEZ LE TRADUCTEUR-ÉDITEUR,
59, rue du Prince-Royal, faub. de Namur.

PARIS,

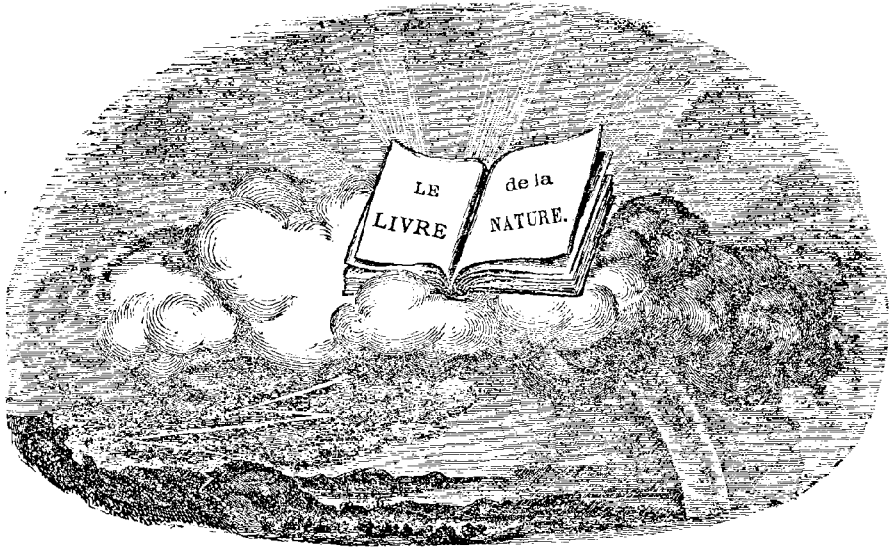
VICTOR MASSON ET FILS,
Place de l'École de Médecine.

1865

LE
LIVRE DE LA NATURE



PHYSIQUE



Le *Livre de la Nature* se trouve ouvert aux regards de l'homme depuis des milliers d'années. Il est écrit en caractères grandioses et splendides. Il contient de l'admirable et de l'utile et, à côté des choses éclatantes, il en est d'apparence insignifiante qui ont leur rang et leur importance.

En tous temps et en tous lieux, l'homme a cherché à comprendre le langage de la nature. Des milliers de personnes l'ont étudié, non pas à la légère et superficiellement, mais scrupuleusement et d'une manière approfondie, et les plus grands esprits se sont efforcés de mettre ce langage à la portée de l'intelligence de tous.

Cependant les résultats de ces efforts demeurèrent incomplets ; il y a dans ce livre bien des pages encore et bien des signes que nous ne comprenons pas, qui nous paraissent obscurs et dont nous ne pouvons que pressentir ou soupçonner la connexité avec d'autres. Mais de même que le sens d'une ancienne inscription n'apparaît que lorsqu'on réussit, peu à peu, à en déchiffrer les divers signes, de même l'homme n'avança que pas à pas dans la connaissance des secrets de la nature.

Bien que les hommes se soient livrés de bonne heure à l'étude de la nature, ils ne le firent pas toujours avec une égale attention. Un ouvrage aussi mystérieux et aussi merveilleux demande à être lu dans le calme et la tranquillité. Mais cette tranquillité, nous la retrouvons rarement, lorsque nous remontons à l'histoire des peuples anciens. Il y avait d'abord tant de choses à acquérir et à instituer, qu'il ne restait qu'à un petit nombre

d'hommes le temps de jeter un regard fugitif sur la nature. Il fallait, avant tout, fonder des États, s'occuper de leur organisation et de leur sécurité; puis à peine ces États commençaient-ils, souvent après d'innombrables guerres et une foule de calamités, à se remettre et à se consolider, que le plus urgent était d'abord de fabriquer des lois pour garantir le droit et la propriété, puis de satisfaire aux besoins du sentiment religieux où les beaux-arts surtout avaient à apporter un utile concours.

Aussi voyons-nous généralement la religion et les beaux-arts constituer les premiers germes d'une civilisation naissante. L'art de la guerre, la science de l'État et du droit s'y joignent bientôt et se forment de meilleure heure et d'une manière plus complète que la science de la nature.

Examinons la voie que celle-ci a parcourue.

Époque la plus ancienne.

Les peuples les plus anciens se contentaient d'utiliser ce que leur offrait la nature et d'en jouir, sans chercher à l'explorer davantage. Ils avaient encore tant à apprendre; aussi ne voyons-nous chez eux que les métiers les plus simples, les seuls propres à satisfaire les besoins de l'homme en nourriture et en vêtements, tels que la chasse, la pêche et plus tard l'élevé d'animaux et l'agriculture. Cependant, précisément à cause de leurs rapports constants avec la nature, ils eurent l'occasion de recueillir certaines observations qui devinrent utiles à leurs successeurs.

Les Chinois et les Égyptiens, qui formèrent de bonne heure des États assez bien établis, sont les premiers chez lesquels nous rencontrons un grand nombre d'arts et plusieurs institutions qui semblent indiquer qu'ils étaient en rapport intime avec la nature. Cependant ces deux peuples n'avaient retenu de ce livre que certains mots ou certains passages. La connexion intime des phénomènes, l'intelligence des choses même les moins obscures, leur échappaient totalement.

Époque moyenne.

Les Grecs, le peuple le plus instruit de l'antiquité, vivaient au milieu d'une nature ravissante, qui leur fournissait en abondance tous les produits nécessaires à la vie. Ils n'étaient, par conséquent, pas obligés de

disputer à la nature ses trésors par le travail et l'exploration; ils s'occupèrent beaucoup moins de l'étude de la nature qu'on n'aurait dû s'y attendre. Comme nous voyons du reste les Grecs exceller en différents arts et métiers, ceux-ci auraient pu pousser à l'exploration de la nature, puisque nous voyons dans les temps modernes plus d'une observation et plus d'une découverte précieuse sortir de l'atelier pour s'élever dans le domaine de la science. Mais tout ce qui s'appelle travail ou métier, se faisait chez les Grecs exclusivement par les mains d'esclaves ou de la partie non instruite de la population. L'attention que portaient des hommes instruits aux produits de ce travail et la part qu'ils y prenaient, se bornaient à l'exécution artistique de ces produits, ce qui correspondait au développement qu'avaient pris chez ce peuple les idées esthétiques.

Cependant toute la force intellectuelle du Grec instruit se développa d'une manière riche et fertile dans une autre direction, qui ne réclamait pas des essais pénibles et des travaux soutenus. La philosophie et les sciences mathématiques, l'économie politique, l'art oratoire, l'art poétique et les beaux-arts se retrouvent déjà, dans l'ancienne Grèce, portés à un degré de perfection qui n'a, sous certains rapports, pas été dépassé jusqu'à ce jour.

Par contre, les sciences naturelles ne firent pas les mêmes progrès. Ce que nous en ont légué les Grecs se borne à un peu d'histoire naturelle descriptive, un peu d'astronomie et de mécanique, autant qu'on pouvait en apprendre avec des instruments fort simples.

Les Romains, peuple puissant et guerrier, ne cherchaient qu'à conquérir et à dominer. Faire la guerre et dicter des lois aux vaincus, telle était leur occupation principale, et jamais ne se développa chez eux ce goût pour les sciences, qui fait qu'on les cultive avec amour et avec succès. Nous voyons ainsi que ce peuple, qui subjuguait tous les royaumes, ne parvint pas à pénétrer dans le royaume de la nature et que, tandis qu'il dictait des lois à tous les peuples, il ne soupçonnait pas les lois éternelles et immuables qui planent dans la nature au-dessus des lois périssables de l'homme.

Après la chute du grand empire romain, arriva pour l'Europe une époque orageuse. D'immenses peuplades abandonnèrent leur pays natal, et, en vue d'établir ailleurs leur domination, elles portèrent la guerre et le trouble partout où leurs hordes pénétraient comme un torrent dévastateur. Alors les arts ne pouvaient fleurir, la science émigra pour aller chercher, dans les pays plus tranquilles de l'Asie, un ciel plus propice. Là, tandis que l'Europe était déchirée par des combats sauvages, beaucoup de connaissances furent conservées, cultivées et développées, et un grand nombre de notions précieuses du domaine de la nature nous furent rapportées de ces contrées par les Croisés et par les Arabes.

Époque plus moderne.

Insensiblement les temps devinrent meilleurs en Europe. Le christianisme, affermi par les combats des martyrs, finit par liguier les peuples contre l'invasion des barbares ; l'empire d'Allemagne s'éleva glorieux et puissant et rétablit un peu la sécurité générale. Bien qu'il y eût encore de fréquentes guerres et invasions, nous voyons pourtant les sciences et les arts, le commerce et les métiers trouver un refuge et fleurir à l'intérieur de monastères tranquilles et dans les enceintes de quelques villes puissantes. Les hommes demeuraient plus près les uns des autres, leurs besoins augmentaient, et cette raison suffit pour diriger leur attention vers la nature, dans le but de lui dérober ses trésors en leur grande abondance. Mais d'autres causes encore vinrent concourir aux progrès des sciences naturelles. L'invention de l'imprimerie permit de retenir et de répandre partout chaque pensée, chaque expérience et chaque observation, et la découverte de l'Amérique, en mettant sous les yeux des Européens étonnés une quantité d'objets nouveaux et remarquables, stimula non-seulement la curiosité, mais fit naître un désir sérieux d'exploration attentive. En outre, il s'était formé, peu à peu, en Italie, en France, en Allemagne et en Angleterre, des écoles savantes et des universités, lieux où toutes les sciences étaient cultivées par les hommes les plus distingués de leur temps. L'exploration de la nature occupait jusque-là principalement les médecins, auxquels leur mission spéciale imposait, dès les temps les plus anciens, une étude approfondie de la nature.

A partir de ce moment, il n'était plus possible aux sciences de rétrograder ou simplement de s'arrêter. Chaque année vint augmenter le trésor des notions acquises ; les découvertes et les inventions se succédèrent rapidement, et tandis que les hommes studieux ne s'étaient jusque-là voués à l'étude de la nature que dans le seul but d'en retirer profit, il arriva que des milliers de personnes s'y adonnèrent, parce qu'elles trouvaient dans la lecture de ce livre admirable une source des joies les plus vives et les plus pures.

Époque actuelle.

Nous nous rapprochons ainsi de l'époque contemporaine. Armée des expériences des temps antérieurs, bénie par une longue paix, cette époque fut plus favorable aux sciences que toute autre époque antérieure, aussi

parmi les peuples les plus instruits de l'Europe il s'éleva une vive émulation, et sous l'empire de cette puissante impulsion les sciences, les arts et les métiers progressèrent rapidement.

Ce fut surtout vers l'étude de la nature que se dirigèrent les esprits les plus éminents. On reconnut la haute importance des sciences naturelles pour la philosophie, la médecine, l'économie rurale et forestière, pour les arts et les métiers. Le concours de circonstances aussi favorables et de forces si nombreuses amena des progrès gigantesques.

Il se forma d'abord en Allemagne un congrès général de naturalistes, réunissant chaque année, en un même lieu, tous ceux qui étudient la nature avec amour et avec feu. Des pays voisins, comme des parties les plus éloignées de la terre, affluèrent des hommes animés du même zèle ; et cet échange de pensées et de connaissances ne put que stimuler les progrès.

Car la science n'a plus aujourd'hui de ces secrets que l'on doit cacher avec crainte et jalousie ; sa source jaillit gaiement et librement pour quiconque s'en approche avec la noble soif du savoir.

Et toi, jeunesse heureuse du temps présent, dont le berceau fut abrité à l'ombre de la branche d'olivier, crois-moi : utilise ce temps précieux et familiarise-toi avec la nature !

Car de même que, selon l'opinion des anciens, chaque nouvelle langue donnait, à celui qui l'avait apprise, une nouvelle âme, de même chaque nouvelle branche des sciences naturelles procure un sens nouveau.

C'est pourquoi, je te rappelle les mots de Goëthe :

« Pour l'observateur attentif, la nature n'est nulle part morte ni muette, »
et te recommande

LE LIVRE DE LA NATURE.

INTRODUCTION.

I

Nous appelons « nature » l'ensemble ou la totalité de ce qui peut être perçu par les sens.

Nous *sentons* ce que notre peau touche, nous *voyons* ce qui de près ou de loin se présente à l'œil, nous *entendons* différents sons autour de nous, nous *sentons* le parfum des fleurs et nous *goûtons* les particularités de différents mets et de différentes boissons.

Les sens sont donc les véritables intermédiaires entre l'esprit et la nature. Eux seuls révèlent à notre esprit ce qui existe hors de nous, de sorte que ce n'est que par les sens que nous pouvons parvenir à la connaissance d'un monde extérieur.

Il est impossible à l'esprit de se faire une idée d'une partie quelconque de la nature, s'il ne peut se la représenter par les sens. L'aveugle, par exemple, parvient par le tact à se faire une idée de la forme des objets, mais jamais il n'acquerra la moindre idée des différentes couleurs, vouldût-on même essayer de lui en donner des descriptions; car il est tout aussi impossible de décrire le bleu, le rouge, que de décrire un son, une saveur.

Pour que l'esprit progresse dans la connaissance de la nature, il faut avant tout qu'il la considère par l'intermédiaire des sens; il doit pour ainsi dire lancer ceux-ci comme des serviteurs dans un pays inconnu et former ses idées d'après leurs rapports. C'est en vain que l'esprit humain, même le plus fort, essaierait, par la seule voie de la réflexion, d'approfondir et d'expliquer l'essence de la nature, soit dans son tout, soit dans ses par-

ticularités. Toujours il serait ramené à la perception par les sens, et l'histoire démontre que ce sont précisément ceux qui, méprisant ce guide, voulaient saisir trop hardiment la nature par la pensée seule, qui se sont le plus fourvoyés.

II

En attribuant avec raison à la perception par les sens une grande valeur pour l'intelligence de la nature, nous sommes loin de la croire à elle seule suffisante. L'enfant et l'idiot, aussi bien que le sauvage, sont sujets aux impressions des sens. Mais chez ceux-ci la connaissance de la nature sera bien bornée, car il leur manque un esprit suffisamment développé, qui perçoit, coordonne et compare les impressions. L'esprit seul peut reconnaître la corrélation entre les impressions les plus différentes et parvenir ainsi, guidé par les sens, à une connaissance intime de la nature.

L'étude attentive de la nature se nomme *observation*, et l'observation faite dans le but d'apprendre davantage, de découvrir, se nomme *exploration*. Lorsque nous intervenons nous-mêmes en remplissant certaines conditions pour pouvoir observer plus attentivement ou pour pouvoir répéter certains faits, on appelle cela *expérimenter*.

III

La nature se manifeste dans des *objets* et dans des *phénomènes*.

Les *objets* sont toutes les choses matérielles, saisissables, que nous rencontrons, tels que les pierres, les plantes et les animaux. Ils attirent tout d'abord notre attention par leur présence, leur étendue et leur forme, et nous engagent à les considérer plus attentivement et à les distinguer. Comme masses matérielles, ils remplissent l'*espace* et servent à comparer et à mesurer celui-ci.

Mais lorsque nous examinons attentivement un objet, il ne se présente pas toujours d'une manière absolument identique. Certains changements se manifestent; tantôt il a changé de place, tantôt de forme ou de couleur; bref, il se manifeste constamment, dans les objets, des *phénomènes* qui ne sont pas d'une moindre importance pour nous. Ce sont eux qui, par leur durée, leur succession et leur retour, remplissent et divisent le *temps*.

IV

Si nous recherchons la cause des phénomènes, l'exemple suivant nous donnera la meilleure réponse.

Il y a par terre une pierre. Je la ramasse et la soulève. Évidemment la pierre a changé de place; nous voyons qu'elle a fait un mouvement. La pierre est l'*objet*, le mouvement est le *phénomène*.

Quelle a été d'abord la cause ou l'occasion de ce phénomène de mouvement ?

Personne n'en doutera. C'était, dans ce cas, ma propre volonté, l'action de ma main qui, en ramassant et soulevant la pierre, l'a mise en mouvement et l'a fait changer de place.

Mais qu'arrivera-t-il de cette pierre que j'ai soulevée, si je l'abandonne à elle-même en ouvrant la main ? Restera-t-elle à l'endroit où elle se trouvait auparavant ?

Nullement; elle ne restera pas suspendue dans l'air, mais au moment où je retirerai ma main, elle tombera à terre.

Nous avons ici un nouveau phénomène de mouvement, et celui-ci est tout à fait indépendant de notre volonté. Car, au moment où la pierre est abandonnée à elle-même, nous aurions beau vouloir, de la manière la plus formelle, que la pierre reste à la place qu'elle occupait, elle n'en tombera pas moins à terre, et le même phénomène se reproduira autant de fois que nous répéterons la même manœuvre.

L'expérience démontre que, quelle que soit la hauteur à laquelle nous ayons levé la pierre et quel que soit l'objet soulevé dans les mêmes circonstances, le même phénomène se renouvellera.

Il doit donc nécessairement exister une cause qui reproduit également, avec les objets les plus divers, ce phénomène de chute, une cause totalement indépendante de la volonté de l'homme, liée d'une manière indivisible à chaque objet et faisant partie de son essence.

Une telle cause d'un phénomène, qui est indépendante de la volonté humaine, se nomme *force* ou *force naturelle*. C'est ainsi, par exemple, que la force, que nous regardons comme la cause de la chute des corps, se nomme l'*attraction* ou la *pesanteur*.

Comme il se passe un grand nombre de phénomènes très-différents, on serait tenté de croire qu'il faut également un grand nombre de forces pour les produire.

Il n'en est rien pourtant. L'observation attentive démontre que la même force peut produire une quantité de phénomènes des plus dissimilables. Il est probable qu'il n'y a en tout qu'un petit nombre de causes

premières ou de forces qui produisent tous les phénomènes qui se passent autour de nous.

Dans l'observation de la nature, nous avons donc d'abord à examiner *les objets* qui se présentent, ainsi que *les phénomènes* qu'ils manifestent. Mais alors, nous avons aussi à rendre compte des causes ou des *forces* qui provoquent ces phénomènes. L'ensemble de ces connaissances se nomme la *science naturelle*.

V

Considérons maintenant la nature ! A cet effet, allons d'abord nous promener en plein air, et examinons attentivement ce qui se présente à nos sens. Aussitôt nous voyons les objets les plus variés. Les prés et les champs sont couverts d'herbes et de plantes ; sur la colline s'étend la forêt remplie d'arbres et de buissons ; à ses pieds, dans la vallée, coule la rivière, tandis que, haut dans les airs, flottent les nuages. Nulle part de tranquillité ni de repos ; les feuilles et les branches se meuvent et s'agitent, les ondes roulent en se contournant, et partout nous voyons les formes animales les plus variées se mouvant et agissant de mille manières différentes.

Quelle foule d'objets, quelle diversité de phénomènes ! Par où commencer notre examen, comment saisir une partie isolée dans ce mouvement général ?

En effet, la quantité trouble ; on perd facilement courage, on ne s'oriente qu'incomplètement et on retourne chez soi bien peu instruit.

Mais ici encore, entre nos quatre murs, que de choses diverses se présentent à notre observation ! La chaleur rayonnant du poêle, la disparition du bois consumé par le feu, le bruit de l'eau qui bout, sont autant de phénomènes qui attirent notre attention. Quels effets différents ne remarquons-nous pas dans le verre qui se trouve dans notre chambre ! Tandis qu'à travers les vitres de la fenêtre nous voyons les choses dans leur état naturel, à travers cette lunette les objets nous paraissent grossis, pendant que la glace nous renvoie fidèlement notre propre image.

Ce sont, à la vérité, de ces choses que nous voyons chaque jour, que chacun connaît ; cependant quand nous nous demandons les causes de ces phénomènes, nous ne les découvrons pas toujours facilement à première vue.

Les matériaux, les objets d'exploration ne manquent donc jamais ni nulle part. Il s'agit seulement de démontrer comment nous devons nous y prendre pour embrasser et dominer leur masse. Vouloir saisir tout à

la fois, serait chose impossible. C'est pourquoi nous prenons une chose après l'autre et nous nous entendons sur l'ordre de leur succession.

VI

Nous sommes ainsi amenés à la nécessité d'une *division* de tout le domaine de la science naturelle. Cette division s'établit facilement d'après les matières qu'elle comporte, à moins qu'on ne veuille délimiter trop exactement ; car, dans le domaine de la nature, chaque chose est toujours en corrélation plus ou moins intime avec une autre.

Mais à celui qui ne connaît pas encore les matières des sciences naturelles ou qui ne les connaît qu'imparfaitement, il est difficile d'en présenter une division ; car on ne peut embrasser clairement dans son ensemble que ce que l'on connaît également dans les détails.

Si néanmoins nous essayons de séparer ce grand pays en différents territoires, nous le faisons principalement pour indiquer l'itinéraire que nous comptons suivre pour le parcourir.

Nous avons déjà vu plus haut que la nature se manifestait en partie dans des *objets* et en partie dans des *phénomènes*, et nous pouvons, en conséquence, former une première division et partager les sciences naturelles en sciences des objets et en sciences des phénomènes.

VII

Les sciences des objets constituent, d'après la nature des objets qu'elles envisagent, trois différentes branches, qu'on désigne collectivement sous le nom d'*histoire naturelle*. La manière dont ces trois branches sont divisées sera peut être mieux comprise par des exemples.

Parmi des milliers d'objets qui m'entourent, je choisis d'abord un morceau de grès, de craie ou de granit, ensuite des morceaux de soufre, de houille, de terre glaise et de terre de pipe.

Ces objets diffèrent beaucoup entre eux ; mais ils ont néanmoins cela de commun que chacun d'eux est uniforme ou homogène dans toute sa masse.

Que je casse un petit morceau de ces fragments de grès, de craie ou de houille, il représentera exactement le même grès, la même craie, la même houille, seulement le morceau sera plus petit. Je puis, par conséquent, démontrer à quelqu'un les propriétés caractéristiques de ces

corps aussi bien sur un petit morceau, que si je lui en soumettais d'énormes blocs.

Sur aucun de ces objets nous ne remarquons une partie quelconque présentant des différences marquées avec d'autres parties ; nous ne pouvons donc pas non plus supposer qu'une particule soit plus nécessaire à l'existence d'un morceau de grès qu'une autre, ni qu'elle ait une destination différente de celle d'une autre. La plus fine poussière de craie qui reste attachée à mon doigt est aussi bien un morceau de craie que la masse de craie qui constitue une montagne.

Le granit même, qui apparaît comme un mélange de différentes matières, ne forme qu'une exception apparente, car, considéré dans son ensemble, il constitue quelque chose d'uniforme. Comme nous le verrons plus tard, on nomme granit un mélange uniforme de quartz, de mica et de feldspath, peu importe que sa masse n'ait que la grandeur d'un noyau de cerise ou bien celle de ce bloc énorme sur lequel repose la statue de Pierre le Grand.

Il existe donc des objets dont la masse est composée de parties similaires ou homogènes et auxquels on ne distingue pas de parties spéciales ayant un but particulier. Nous les nommons minéraux, et la partie des sciences naturelles qui s'en occupe, s'appelle minéralogie.

Quelle différence ne remarquons-nous pas, au contraire, quand nous soumettons à notre examen un arbre ou un arbrisseau, ou simplement une fleur, une feuille ou une racine !

Comme les différentes parties varient sous le rapport de la forme, de la couleur et de la densité, on reconnaît facilement que les parties différemment constituées d'un arbre ont aussi des fonctions ou des destinations particulières ; car, qu'on lui enlève sa racine, son écorce ou ses feuilles et nous verrons bientôt que c'en est fait de l'existence de l'arbre. Nous ne pouvons pas non plus, avec une partie donnée de l'arbre, nous faire une idée juste du tout, si celui-ci nous était inconnu auparavant.

Mais ce qui est encore plus remarquable, c'est ce que nous apercevons à un examen attentif, notamment à l'aide du microscope, à l'intérieur de la racine, de l'écorce et des feuilles d'un arbre. Nous voyons des sucs qui s'y meuvent, qui montent et qui descendent, nous voyons des liquides qui sont évaporés et d'autres qui sont absorbés. Ce n'est qu'à l'extérieur que nous ne voyons aux arbres, aux arbrisseaux et aux herbes aucun mouvement émanant d'eux-mêmes ou occasionné par eux. Le vent secoue et fait fléchir les branches et les sommités du chêne, qui, par lui-même, n'est pas capable d'imprimer du mouvement à une feuille. Le vent et le semeur répandent la semence sur la campagne, mais la tige reste immuable à la place où elle a pris racine.

Des objets avec des parties dissemblables, de forme spéciale et affectées à

des usages spéciaux, sans mouvement volontaire, se nomment plantes ou végétaux, et la science qui en traite s'appelle étude des plantes, ou botanique.

Mais il existe encore des objets en grand nombre, qui, de même que les plantes, ne sont pas homogènes dans toute leur masse, qui, comme celles-ci, sont pourvus de parties de conformation spéciale, affectées à des usages spéciaux, et dans l'intérieur desquels il se passe également des mouvements particuliers et que malgré cela nous ne rangeons pas parmi les plantes.

Ils s'en distinguent parce qu'ils possèdent la faculté de se mouvoir librement à l'extérieur, et de pouvoir ainsi non-seulement changer la place et la position de leurs différentes parties, mais encore se rendre d'un lieu dans un autre, c'est-à-dire changer de place.

Des objets avec des parties de forme spéciale affectées à des usages spéciaux, doués de la faculté de se mouvoir spontanément, se nomment animaux, et la science qui en traite se nomme étude des animaux, ou zoologie.

D'après cela, tous les objets sont ou homogènes, comme les minéraux, ou hétérogènes, comme les plantes et les animaux. Ces derniers possèdent des parties de conformation spéciale, affectées à des fonctions spéciales; ces parties se nomment *organes*. L'action collective de tous les organes d'une plante ou d'un animal se nomme vie; c'est pourquoi on désigne aussi les plantes et les animaux sous le nom d'objets *vivants* ou *animés*, en opposition avec les minéraux qui sont *inanimés*. On nomme encore les premiers, parce qu'ils sont pourvus d'organes, *corps organiques*; et les seconds, dépourvus d'organes, *corps inorganiques*.

VIII

Les sciences des *phénomènes* se divisent également en plusieurs branches. L'observation démontre que tous les phénomènes naturels constituent trois groupes principaux, présentant chacun des particularités que nous allons éclaircir par des exemples.

Supposons que je frappe avec le marteau contre une cloche, je perçois un son. La même chose a lieu lors du frottement d'un archet contre une corde tendue. Un verre taillé en lentille me montrera grossis tous les objets que je regarde à travers; avec la même lentille, je condenserai les rayons du soleil, je les réunirai en un point et j'allumerai de cette manière des objets inflammables. Sur chaque objet soulevé et abandonné à lui-même, nous remarquons le phénomène de la chute; avec la corde fortement tendue de l'arc nous imprimons à la flèche un mouvement d'une

grande vitesse ; de l'eau que nous échauffons se transforme en vapeur, et lorsque celle-ci est refroidie, elle retourne à l'état d'eau.

Nous avons ici des phénomènes très-différents, savoir le son, le grossissement, l'inflammation, la chute, le mouvement et la formation de vapeur.

Quelque différents que soient entre eux ces divers phénomènes, ils ont quelque chose de commun, c'est que tous les objets dans lesquels nous remarquons ces phénomènes ou au moyen desquels nous les provoquons, n'ont pas subi de modification essentielle.

La cloche et la corde sonores, le verre lenticulaire, la pierre en tombant, la corde de l'arc demeurent sans aucune modification. L'eau même, qui par l'échauffement a pris la forme de vapeur, retourne à son état antérieur, quand la vapeur est refroidie, sans que ses propriétés aient subi une modification sensible.

Il en est de même des corps célestes ; leurs mouvements sont des phénomènes qui ne sont accompagnés d'aucune modification perceptible, c'est pourquoi on doit également les ranger dans ce genre de phénomènes.

Des phénomènes sans modification essentielle des objets qui y prennent part se nomment des phénomènes physiques, et la science qui s'en occupe s'appelle « Physique. »

Il en est tout autrement d'une série de phénomènes que nous allons examiner maintenant.

Si je brûle un morceau de charbon, de bois ou de soufre, charbon, bois et soufre disparaissent complètement à mes yeux. Ils se transforment, et passent à un nouvel état dans lequel ils ont totalement perdu leurs propriétés antérieures. Si l'on fait rougir au feu simultanément et d'une manière violente et continue du sable et de la potasse, ils se transformeront, en fondant tous deux, en verre, dans lequel certainement personne ne reconnaîtra ces deux corps. Le phénomène est encore plus remarquable, lorsqu'on échauffe ensemble du soufre et du mercure. Tous deux disparaissent totalement à l'œil, et à la place du soufre jaune et du mercure à l'éclat argentin, on obtient la couleur rouge vif du cinabre. Il y a mille exemples pareils, où toujours les objets que nous employons à la production de phénomènes subissent une modification essentielle et se transforment en objets doués de propriétés toutes différentes.

Des phénomènes avec modification essentielle des objets qui y prennent part se nomment des phénomènes chimiques, et la science qui s'en occupe s'appelle « Chimie. »

Nous avons enfin un troisième groupe de phénomènes particuliers, qu'on nomme phénomènes vitaux, parce qu'ils n'ont lieu que sur des objets vivants, comme les plantes et les animaux. Tels sont, par

exemple, leur croissance, le mouvement des différents liquides dans leur intérieur, la préhension et l'emploi des aliments, etc.

Ces phénomènes qui s'observent sur des objets vivants se nomment des phénomènes physiologiques, et la science qui expose ces phénomènes s'appelle « Physiologie. »

En résumant brièvement toutes les diverses branches des sciences naturelles que nous venons de désigner, nous aurons le tableau synoptique suivant :

A. SCIENCES DES PHÉNOMÈNES			B. SCIENCES DES OBJETS		
1 <i>sans</i> modification des objets.	2 <i>avec</i> modification des objets.	3 <i>sur</i> des objets <i>vivants.</i>	4 qui sont <i>homogènes</i> dans leur masse.	5 <i>hétérogènes</i> dans leur masse et <i>sans</i> mouvement volontaire.	6 <i>hétérogènes</i> dans leur masse et <i>avec</i> mouvement volontaire.
Physique.	Chimie.	Physiologie.	Minéralogie.	Botanique.	Zoologie.

IX

L'ordre suivant lequel on doit étudier ces différentes branches de la science naturelle, n'est pas indifférent. Pour les intelligences mûres, le plus convenable est de commencer par les phénomènes les plus généraux et leurs lois, qui se répètent, pour ainsi dire, dans l'étude de chaque objet. Il est plus facile et plus attrayant pour une intelligence développée d'entrevoir d'abord des esquisses plus larges et des vérités plus générales, que de se fatiguer à l'étude d'une multitude de particularités. Dans ce cas, l'enseignement débute le plus avantageusement par la Physique et l'Astronomie, suivies bientôt par la Chimie. A cette dernière se joint, comme complément nécessaire, la Minéralogie. Ces quatre sciences contiennent les connaissances préparatoires les plus indispensables pour l'intelligence approfondie de la vie végétale et animale. Suivent maintenant la Botanique et la Zoologie, dans l'étude desquelles on fait entrer ordinairement la Physiologie, à moins qu'il ne s'agisse de la traiter à part et à un point de vue scientifique plus élevé.

Cet ordre a été suivi dans le *Livre de la Nature*, et cela de telle sorte,

que chaque division antérieure forme plus ou moins l'introduction à la suivante.

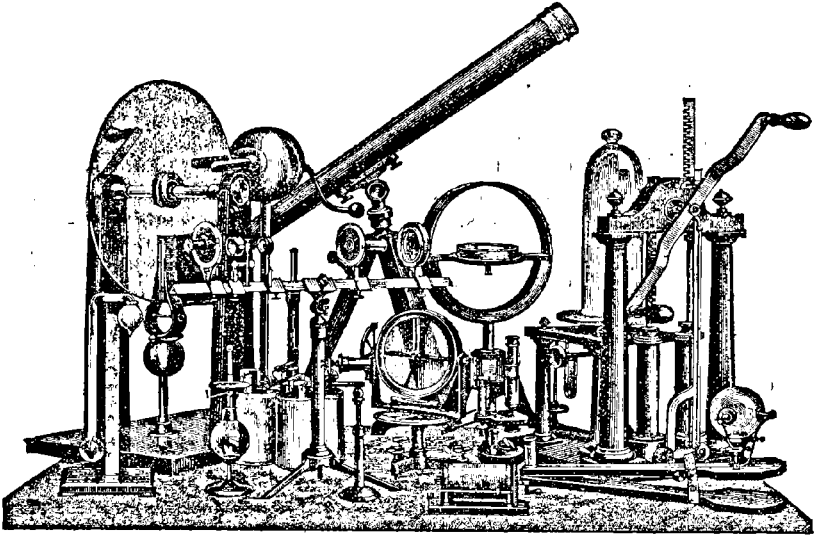
Un autre ordre devient nécessaire lorsqu'on se propose d'initier de bonne heure la jeunesse à l'étude de la nature. Car il est évident que l'enfant saisit plus vite et plus sûrement les objets d'après leurs formes et leurs autres caractères, que les forces et les lois qui président aux phénomènes et sur lesquelles il est, la plupart du temps, difficile de se former une idée claire et juste.

Laissons donc pénétrer les enfants à leur gré dans le règne des animaux ; parmi ceux-ci, les insectes surtout offrent des matériaux riches et attrayants, qui peuvent suffire pendant des années et qu'on peut trouver partout vivants. En s'habituant ainsi à observer et à saisir, ils avancent en âge ; alors on passe au règne végétal et de là aux minéraux.

Ce n'est généralement que vers l'âge de quinze ans que l'on peut commencer avec fruit l'étude de la physique et de la chimie. Après ces études isolées, une revue rétrospective et générale finira par nous initier à tous les phénomènes encore ignorés de la nature et fera voir leur connexion intime, que nous ne pouvons jamais rompre qu'en partie.

Que, du reste, chaque maître choisisse son propre chemin, pourvu qu'il soit capable d'y marcher d'un pas assuré et qu'il sache éveiller le goût et entretenir le zèle de ses élèves.

Alors tous les chemins conduisent au but ; mais qui veut atteindre le but ne doit pas s'effrayer des difficultés de la route.



PHYSIQUE.

« Tu as tout ordonné avec nombre, poids et mesure. » SAGESSE DE SALOMON, XI, 23.

INTRODUCTION.

1. La physique est la science des phénomènes naturels qui ne sont pas accompagnés d'une modification essentielle des corps sur lesquels ils s'aperçoivent ou par lesquels ils se produisent.

Dans les phénomènes physiques de ce genre se rangent la chute d'une pierre, le son d'une cloche, le grossissement produit par une lentille, parce que les objets qu'on a employés pour les produire ne subissent pas de modification. De même, la lumière qui traverse une vitre ne modifie nullement celle-ci, et même la chaleur ne modifie que momentanément l'état des corps.

La distinction des phénomènes physiques n'offre de difficulté apparente que là où ils se passent simultanément avec d'autres phénomènes.

La chaleur que développe la combustion du charbon est un phénomène physique, tandis que les modifications que subit, dans ce cas, le charbon, rentrent dans le domaine des phénomènes chimiques.

2. Dès sa tendre jeunesse, l'homme acquiert, par l'impression de ses sens, tant par la vue que par le tact, mais plus encore par le déplacement de son corps d'un lieu dans un autre, une idée de la juxtaposition de ce qui est hors de lui, ou, en d'autres mots, l'idée de l'étendue.

Le sens de la vue seul ne lui donne pas cette idée. Un petit enfant cherche à saisir tout aussi bien des objets éloignés, par exemple, la lune, que des objets très-rapprochés. Un aveugle de naissance, qui ne récupère la vue, par une opération, que beaucoup plus tard, ne peut, immédiatement après, juger par la vue ni de la distance ni de l'étendue. Ce n'est qu'en se déplaçant et en tâtant simultanément les objets qu'il voit, qu'il apprend à apprécier ce qui est proche et ce qui est loin, ce qui est grand et ce qui est petit. C'est à l'habitude d'observer dès l'enfance par le tact et par la vue, que nous devons de pouvoir apprécier par les yeux la grandeur des objets et les distances.

L'expérience nous donne en outre la conviction que l'étendue peut suivre trois directions différentes que nous désignons par hauteur, largeur et profondeur.

Une étendue dans les trois directions se nomme *espace*. Comme nous pouvons en idée prolonger chacune de ces directions à l'infini, l'idée de l'espace peut également être déterminée par l'infini : on dit alors l'*espace infini*. Mais il est beaucoup plus facile de se représenter une partie délimitée de l'espace, que cet espace infini.

3. De même il se produit pour chaque homme, sans qu'il s'en aperçoive, tant par la diversité que par la répétition des objets qui l'entourent, l'idée du *nombre*, et par la succession des phénomènes, voire même seulement par l'ordre successif de nos pensées, l'idée du *temps*. Pour apprécier le nombre aussi bien que le temps, il nous faut certains points de comparaison et une certaine habitude, sans laquelle nous n'aurions pas d'idée plus exacte sur eux que sur l'espace. Nos mouvements respiratoires, le battement du pouls, les variations du jour et de la nuit et des saisons sont de ces phénomènes, qui nous viennent en aide pour mesurer et diviser le temps.

L'espace, le nombre et le temps sont donc quelque chose de général, lié à chaque impression des sens et d'une importance majeure pour l'observation de la plupart des faits naturels. Les propriétés de l'espace et du nombre constituent l'objet d'une science particulière—*les mathématiques*.

4. Ce qui occupe l'espace, c'est la *matière*. Si tout l'espace était rempli de matière, celle-ci serait également infinie; espace et matière seraient alors choses identiques. Mais cela n'est pas. La matière n'occupe que certains endroits de l'espace : elle est toujours limitée. Une partie limitée quelconque de la matière, qu'elle soit grande ou petite, se nomme un *corps* ou un *objet*.

Les corps célestes aussi bien que la terre sont de ces parties limitées dans l'espace, autrement dit des corps. Leur étendue, comparée à celle de l'espace, est infiniment petite.

5. Si nous nous représentons cette matière telle que nous venons de la définir, elle ne porte en elle-même aucune cause de modification. Comme telle, elle devrait rester constamment la même, demeurer éternellement dans le même état, à la même place. Elle serait par conséquent tout ce qu'il y a d'invariable, d'inerte et d'immobile, et ne parviendrait pas à frapper et à occuper notre attention par la variation des phénomènes qu'elle présente. C'est pourquoi nous devons admettre à côté de la matière une cause particulière des phénomènes qui s'y manifestent ; cette cause se nomme *force*.

C'est ainsi que nous attribuons à une force attractive particulière, pommée *pesanteur*, ce phénomène connu, que des corps qui ne sont pas tenus ou soutenus tombent à terre.

En examinant les différents phénomènes physiques, nous reconnaitrons, d'un côté, certaines forces dont les effets se manifestent à des distances extraordinaires, tandis que, d'un autre côté, il y a des forces qui ne produisent leur effet qu'à proximité.

Comme exemple des premières, nous citons l'attraction mutuelle entre le soleil, la lune et la terre, ainsi que la force magnétique de la terre, qui donne partout à l'aiguille aimantée une direction déterminée.

Par contre, ce sont des forces n'agissant qu'à très-grande proximité dont dépendent le degré de cohésion des corps, leur forme plus ou moins régulière, leurs modifications chimiques et d'autres phénomènes. Les forces de ce genre sont désignées sous le nom particulier de *forces moléculaires*. C'est une force moléculaire de cette nature qui dispose les particules d'eau qui se congèlent en ces charmantes petites étoiles que nous admirons dans les flocons de neige.

6. Nous examinerons tout le domaine des phénomènes physiques, qui sont excessivement nombreux, dans les neuf divisions suivantes :

- 1° *Propriétés générales des corps.*
- 2° *Etats particuliers de la matière.*
- 3° *Equilibre et mouvement.*
- 4° *Le son.*
- 5° *La chaleur.*
- 6° *La lumière.*
- 7° *Le magnétisme.*
- 8° *L'électricité.*
- 9° *La météorologie.*

I. Propriétés générales des corps.

7. Comme la physique s'occupe des phénomènes des corps, il importe, avant tout, que l'on se fasse une idée de la nature intime ou de l'essence des corps. On y arrive le plus facilement en considérant d'abord les *propriétés générales*, c'est-à-dire les propriétés que l'on reconnaît à tous les corps, quelque différents qu'ils puissent être. Ici viennent se ranger 1° l'étendue; 2° l'impenétrabilité; 3° l'inertie; 4° la divisibilité; 5° la porosité; 6° la compressibilité et la dilatabilité; 7° la pesanteur.

8. **Étendue.** Comme la matière occupe certaines parties de l'espace, elle doit avoir de l'étendue; et comme, dans l'exposition des phénomènes physiques, nous aurons souvent à parler d'étendue, il convient d'indiquer ici comment on peut ramener l'étendue à une idée claire et la mesurer.

Nous désignons l'étendue poursuivie dans une seule direction par la ligne droite, et le moyen de la mesurer se nomme *mesure de longueur*. On conçoit qu'autant pour les observations scientifiques que pour les relations ordinaires, il est extrêmement important de posséder une mesure générale et invariable de longueur. Il importe surtout de déterminer l'unité de la mesure de telle sorte que si elle venait à se perdre ou à être falsifiée, on pût en tout temps la rétablir.

En France, une commission de savants fut chargée de rechercher une unité de longueur. Celle-ci mesura exactement la quatrième partie du plus grand cercle traversant les pôles, puis la divisa en dix millions de parties, et prit une de ces parties pour unité de longueur, qui reçut le nom de *mètre*.

Le mètre se subdivise de la manière suivante :

Mètre.	Décimètres.	Centimètres.	Millimètres.
1	= 10	= 100	= 1000
	1	= 10	= 100
		1	= 10

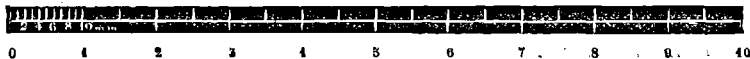


Fig. 1.

La figure 1 représente un décimètre divisé en centimètres et en millimètres.

Le millimètre est donc ici la plus petite mesure, et puisque nous l'avons déterminé, il peut parfaitement nous servir pour la comparaison des diverses mesures.

Dans d'autres pays, l'unité de mesure est le *pied*, qui se divise en 10 ou en 12 *pouces*. Le pouce se divise en 10 ou en 12 parties, qu'on nomme *lignes*.

COMPARAISON DES MESURES DE DIVERS PAYS.

	Pied.	Pouces.	Lignes.	Millim.
Grand-duché de Hesse	1	= 10	= 100	= 250
Saxe	1	= 12	= 144	= 283
Franctort-sur-le-Mein	1	= 12	= 144	= 284
Brunswick	1	= 12	= 144	= 283
Wurtemberg et Hambourg	1	= 10	= 100	= 286
Hesse électorale	1	= 12	= 144	= 287
Bavière	1	= 12	= 144	= 291
Hanovre	1	= 12	= 144	= 292
Grand-duché de Bade	1	= 10	= 100	= 300
Angleterre	1	= 12	= 144	= 304
Prusse ou pied rhénan	1	= 12	= 144	= 313
Autriche	1	= 12	= 144	= 316
Pied de Paris ou ancien pied français	1	= 12	= 144	= 324

On nomme *mesures décimales* les mesures qui sont divisées en 10 parties égales, comme le mètre, le pied de Hesse, etc.; tandis qu'une mesure partagée en 12 parties égales est désignée sous le nom de *mesure duodécimale*, comme, par exemple, le pied de Paris et le pied rhénan, etc.

Une surface plane ou étendue en deux dimensions s'évalue par la mesure de *surface* ou la *mesure carrée*.

Enfin, certaines parties de l'espace, ainsi que les espaces qu'occupent les corps, se déterminent par la mesure cubique, et nous exprimons de cette manière *l'espace occupé* ou, ce qui est la même chose, le *volume* des corps.

DIVISION DES MESURES.

1 mètre	=	10 décimètres	=	100 centimètres	=	1000 millimètres.
		1 décimètre	=	10 centimètres	=	100 millimètres.
				1 centimètre	=	10 millimètres.
1 mètre carré	=	100 décimèt. □	=	10000 centimèt. □	=	1000000 millimèt. □
		1 décimèt. □	=	100 centimèt. □	=	10000 millimèt. □
				1 centimèt. □	=	100 millimèt. □
1 mètre cube	=	1000 déc. cubes	=	1000000 cent. cubes, etc.		
		1 déc. cube	=	1000 cent. cubes.		
				1 cent. cube	=	1000 mill. cubes.

La figure 2 représente un mètre carré divisé en décimètres carrés, et la fig. 3 un mètre cube divisé en décimètres cubes (2 1/2 pour 100).

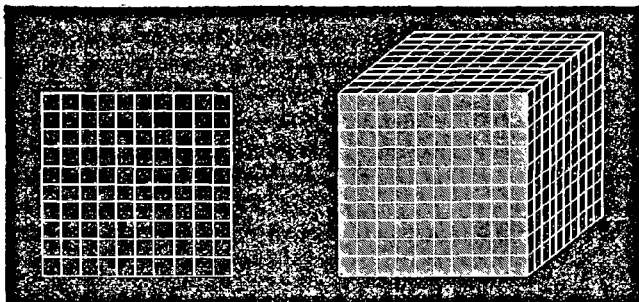


Fig. 2.

Fig. 3.

C'est un exercice préparatoire très-simple et très-utile que de mesurer exactement certaines surfaces et certains espaces connus, par exemple, une chambre et les objets qui s'y trouvent, et de retenir les chiffres obtenus.

9. Impénétrabilité. Nous reconnaissons que la matière occupe un espace par son *impénétrabilité*. Dans le même espace qu'occupe la terre, il ne peut pas se trouver en même temps un autre corps céleste. De même, l'expérience de tous les jours nous démontre que dans l'espace qu'occupe une montagne, une pierre ou notre propre corps, il ne peut pas exister en même temps un autre corps.

Les obstacles que nous rencontrons lorsque nous marchons dans une seule et même direction, ne sont autre chose que le résultat de l'impénétrabilité des corps qui se trouvent sur notre route.

L'air occupe également l'espace, il est impénétrable : c'est pourquoi

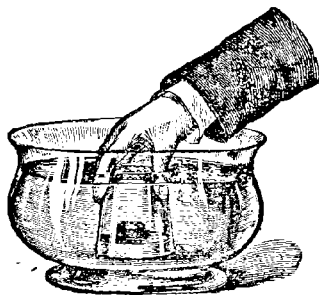


Fig. 4.

on le considère comme une partie de la matière, comme un corps. Si je plonge un verre de table dans l'eau, en le retournant de sorte que son ouverture soit en bas, il n'y entrera pas d'eau, à quelque profondeur que je l'y plonge. Cela dépend de ce que l'air qui est dans le verre est impénétrable : c'est pourquoi l'eau ne peut occuper sa place. La possibilité de descendre dans les profondeurs de la mer au moyen de la *cloche à plongeur*, repose sur l'impénétrabilité de l'air qui y est contenu. La descente du plongeur dans le fond peut facilement être figurée (fig. 4). Au-dessus

d'un bouchon de liège, qui nage dans un vase rempli d'eau, on plonge un verre de table retourné. On voit dans ce cas le bouchon descendre au-dessous de la surface de l'eau jusqu'au fond, et remonter au moment où on retire le verre sans que sa face supérieure ait été mouillée. Le métier de plongeur a été considérablement perfectionné par les progrès de la chimie et de la mécanique, qui ont permis d'enlever de la cloche l'air vicié par la respiration, pour le remplacer par de l'air frais.

Un vase que l'on dit vide dans le sens ordinaire du mot, est, par conséquent, toujours rempli de matière, c'est-à-dire d'air, et ce n'est qu'en enlevant cet air que nous pouvons y faire entrer une autre matière, par exemple de l'eau.

10. Inertie. Il n'y a pas dans toute la nature un changement qui s'opère dans un corps, sans qu'il ait été occasionné par des forces particulières. Les corps ont tous une tendance à persister dans l'état où ils se trouvent; cette propriété est désignée sous le nom d'*inertie*. Grâce à son inertie, un corps en repos y restera jusqu'à ce qu'une force extérieure le mette en mouvement; par contre, un corps en mouvement, de par la loi de l'inertie, continuera son mouvement jusqu'à ce qu'il soit suspendu par l'action opposée de forces extérieures. Nous verrons plus tard l'influence de l'inertie sur les mouvements.

11. Divisibilité. Tout corps peut, par des moyens convenables, être divisé en parties plus petites. Les pierres les plus dures sont réduites en poussière par le roulement des chars, et l'action du moulin transforme le grain en fine farine; le frottement de la lime réduit les métaux en limaille; l'action du marteau les transforme en fines lamelles dont on fait des fils plus fins que des cheveux. L'eau que contient un vase peut facilement être divisée en gouttes et chaque goutte peut, au moyen d'un pinceau, être répandue sur une grande surface. Au bout d'un certain temps, la surface humectée redevient sèche, parce que l'eau s'évapore et se divise en particules si infiniment petites, que l'œil nu ne peut les percevoir.

La divisibilité est donc une propriété générale des corps, et nous en opérons la division soit par des instruments, alors on la nomme *division mécanique*, soit par des forces naturelles, et, dans ce cas, elle se nomme *division physique*.

Quelques exemples nous montreront jusqu'où ces divisions peuvent aller. Le trait de ligne entre ces deux parenthèses (-) marque la mesure d'un millimètre.

Le ver à soie fabrique des fils dont il en faut cent les uns à côté des autres pour occuper la largeur d'un millimètre, et cependant on a tiré le platine en fils si extraordinairement fins, qu'il en faut un faisceau de cent-quarante pour égaler l'épaisseur d'un fil de cocon. Douze de ces fils de platine,

placés les uns contre les autres, ne sont pas plus larges qu'un fil de cocon : il en faudra donc douze cents pour occuper la largeur d'un millimètre.

Par les moyens physiques les corps peuvent se diviser en parcelles plus minces encore. Quand on dissout, par exemple, un grain de sel dans un verre rempli d'eau, chaque gouttelette de cette solution, que nous enlevons au moyen de la pointe d'une aiguille, contiendra une particule de sel. Tant qu'il se trouve un peu de musc dans une chambre, celle-ci sera remplie d'une forte odeur, sans que le musc perde sensiblement de son poids.

Quelque extraordinairement petites que soient les particules qu'on peut obtenir par la division de la matière, il est cependant un grand nombre de phénomènes qui démontrent à l'évidence que cette division ne peut pas être continuée à l'infini, et on suppose que chaque corps est composé de particules extrêmement petites qu'on ne peut plus diviser et qu'on nomme *atomes*.

Il y a des verres qui grossissent de douze à seize cents fois ; et cependant des expériences chimiques ont prouvé que les atomes sont tellement petits, que placés sous ces verres, ils ne sont pas encore visibles.

Si nous adoptons cette manière de voir, il s'ensuit que la *masse* d'un corps dépend uniquement du nombre de ses atomes et que ses propriétés résultent tant de la nature que de la disposition de ses atomes.

Nous aurons plus ou moins l'occasion de constater la vérité des conclusions de cette espèce dans le courant de nos explorations de la nature.

12. Porosité. Les petites ouvertures de la peau, par lesquelles sortent la sueur et les exhalations, se nomment *pores*. On nomme pour cette raison *poreux* tous les corps qui se laissent pénétrer par l'eau ou par l'air, et comme *presque* tous les corps sont dans ce cas, on compte également la *porosité* parmi les propriétés générales des corps.

Parmi les corps très-poreux, nous pouvons citer l'éponge, le bois, le charbon de bois, la croûte du pain, sur lesquels, à première vue, on distingue de grands et de nombreux pores.

Cependant, sur d'autres corps on n'observe la porosité que dans des circonstances particulières. Qu'on fasse, par exemple, des sphères creuses de fer, d'or ou d'autres métaux denses, qu'on les remplisse d'eau, qu'on les bouche solidement et qu'on les soumette ensuite à une forte pression, l'eau s'échappera en fines gouttelettes à travers les pores du métal.

Le verre et quelques autres corps ne permettent en aucune circonstance le passage de l'eau ou de l'air. Bien qu'il y ait des raisons de croire que ces corps aussi possèdent des interstices, il est d'usage de ne nommer *poreux*, que les corps dont la porosité est démontrée dans les circonstances ordinaires.

13. Dilatabilité et compressibilité. Un même corps n'occupe pas toujours le même espace; il peut devenir plus petit par la compression et le refroidissement, et plus grand par la tension et l'échauffement. La compressibilité peut se déduire de la porosité, car du moment que dans la masse d'un corps il y a des interstices, il doit pouvoir être comprimé, si nous sommes en état d'employer une force suffisante.

Effectivement, on n'a pas encore trouvé de corps qu'il ne fût possible de réduire par la compression en un plus petit volume ou de renfermer dans un plus petit espace.

Évidemment, chaque corps devient d'autant plus dense, que la pression est plus forte, et la résistance opposée à toute pression ultérieure augmente en raison directe de la pression déjà exercée.

L'air est incontestablement, de tous les corps, celui qui peut être comprimé le plus fortement, tandis que, chose curieuse, l'eau et les autres liquides ne se laissent compresser qu'à un degré très-faible. Si l'on voulait, par exemple, dans un canon dont les parois auraient trois pouces d'épaisseur, comprimer vingt pouces cubes d'eau au point de ne leur faire occuper que dix-neuf pouces cubes, le canon crèverait avant que l'on y parvienne.

Des corps très-poreux se laissent naturellement comprimer fortement, mais les métaux aussi peuvent être battus et frappés au point d'occuper un plus petit espace. Le verre lui-même est susceptible de compression; il doit donc avoir dans son intérieur des interstices; mais ils sont tellement petits qu'ils sont invisibles.

On entend par *dilatabilité* des corps, leur propriété de s'agrandir lorsqu'on les échauffe ou lorsque la pression exercée sur eux est diminuée.

On peut admettre que l'espace occupé par un corps est d'autant plus grand qu'on l'échauffe davantage.

La dilatabilité s'observe de la manière la plus forte et la plus frappante sur des corps qui ne se décomposent pas même à la plus forte chaleur, comme l'air et l'eau. Un décimètre cube d'eau, échauffée au point de se transformer totalement en vapeur, occupe alors un espace de 1,700 décimètres cubes.

14. Pesanteur. Tous les corps s'attirent mutuellement avec une force correspondante à leur masse. Cette attraction se nomme la *pesanteur* ou la *gravitation*.

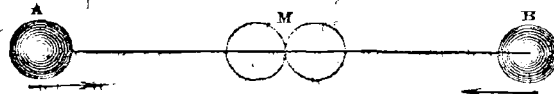


Fig. 5.

Supposons les deux masses A et B (fig. 5), qui sont parfaitement égales

entre elles, et qui, par conséquent, s'attirent mutuellement avec la même force, lorsque aucune autre force ne vient contrarier ou empêcher cette attraction; il est évident que les deux masses, en vertu de leur attraction, se rapprocheront avec une vitesse égale, jusqu'à ce qu'elles se rencontrent au point *M*, qui est juste le milieu de leur distance primitive.

Mais si, comme dans la figure 6, la masse *B* est le double de la masse *A*,



Fig. 6.

l'attraction que *B* exercera sur *A* sera double de celle que *A* exerce sur *B*, et en se rapprochant, *A* aura une vitesse double de *B* et parcourra un chemin deux fois aussi grand que *B*. Les deux masses doivent donc se toucher au point *D*, qui est un tiers de toute la distance. Comme on le voit, la masse la plus petite a parcouru le plus grand chemin; et ce fait devient encore plus évident lorsqu'on admet une différence beaucoup plus grande entre les deux masses, comme dans la figure 7, où *A* représentant 1, *B* doit représenter 100.

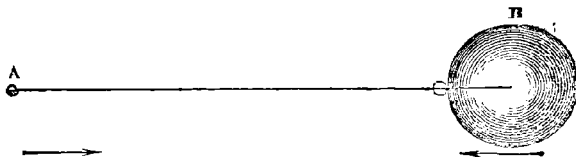


Fig. 7.

Ici le mouvement de *B* sera tellement petit, qu'il paraîtra rester en repos, tandis que le petit corps *A* se mouvra avec une grande vitesse vers le grand. Nous avons par là l'explication d'un phénomène que nous voyons journellement, savoir celui de la chute des corps. Car, en comparaison avec la grandeur de la terre, tous les corps qui se trouvent à sa surface sont infiniment petits et sont attirés par elle avec une force considérable. La pesanteur est par conséquent la cause de la chute des corps et l'observation a démontré que lorsqu'un corps met une seconde à tomber, il parcourt un chemin de quinze pieds de Paris ou de quatre mètres.

Lorsqu'on suspend un corps, par exemple, une balle de plomb, à un fil, ce corps ne peut pas tomber, mais, par suite de l'attraction, il imprime

au fil une position qui indique la direction de la pesanteur (fig. 8). On nomme cette direction *la verticale*, et l'appareil simple qui l'indique, le *fil à plomb*. La direction qui coupe la verticale à angle droit se nomme la ligne *horizontale*, le plan horizontal. La surface d'une eau en repos est toujours horizontale.



Fig. 8.

15. Loi de la gravitation. Si l'on prolonge en imagination la direction que prend le fil à plomb, on obtient une ligne qui se dirige vers le centre de la terre : et comme la même chose a lieu à un point quelconque de la superficie de la terre, l'attraction universelle de la terre E (fig. 9) nous paraît se réunir dans son centre *c*. Chaque corps sur la surface terrestre se trouve donc éloigné du centre de l'attraction d'une distance égale au rayon de la terre *x* et est attiré avec une force que nous désignons par l'espace de chute de quinze pieds à la seconde.

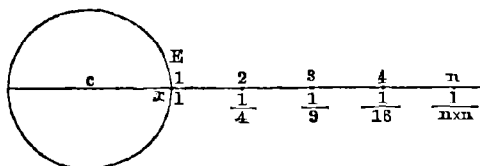


Fig. 9.

À une plus grande distance, l'attraction n'est plus la même, mais elle devient d'autant plus faible que nous nous éloignons davantage du centre de la terre. Cette diminution de la pesanteur a lieu d'après une loi particulière qui peut s'exprimer ainsi : Supposons la force d'attraction à la distance 1 du centre de la terre désignée par un espace de chute de quinze pieds ; elle est en 2 égale à $\frac{15}{4}$, en 3 à $\frac{15}{9}$, en 4 à $\frac{15}{16}$, etc. Nous pouvons donc désigner à chaque distance la force de la pesanteur par une fraction dont le numérateur est quinze et dont le dénominateur s'obtient par la multiplication de la distance par elle-même, ou, exprimée plus brièvement, *la pesanteur diminue en raison du carré de la distance*.

On devrait penser que sur de très-hautes montagnes, l'espace de chute en une seconde doit comporter moins que quinze pieds. Mais les plus hautes montagnes de la terre ne sont, comparativement à la masse de cette dernière, que des points trop insignifiants pour pouvoir influencer notablement sur la rapidité de la chute.

16. Chute dans le vide. Comme la pesanteur agit tout aussi bien sur une particule isolée de la matière que sur plusieurs particules réunies, tous

les corps doivent tomber avec une égale vitesse, que leur masse soit grande ou petite.

Mais nous voyons qu'une feuille de papier, une plume, un fétu de paille tombent moins rapidement, d'une hauteur donnée, qu'une pierre ou une balle de plomb. La raison de ce phénomène est la plus grande résistance de l'air pour les premiers ; aussi, si on laisse tomber tous les corps cités dans un espace où l'on a fait le vide, ils tombent tous avec la même rapidité.

L'accélération manifeste d'un corps pendant sa chute fera plus tard l'objet d'explications plus détaillées.

17. Poids. Comme chaque particule d'un corps est attirée par la terre, elle doit exercer une certaine pression sur l'objet qui la soutient. La pression totale de toutes les particules d'un corps sur leurs bases *horizontales* se nomme son poids. Par conséquent, plus un corps a de particules ou plus il a de masse, plus son poids est grand.

On peut comparer les masses ou les poids de deux corps en les fixant aux extrémités d'un levier à bras égaux. Si ce levier reste en équilibre, les poids sont égaux. Quand les poids sont inégaux, le levier descend du côté où se trouve le poids le plus grand.

Une disposition pareille pour la comparaison des poids se nomme *balance*.

18. Mais on nomme encore poids les unités dont on se sert dans les différents pays pour peser, c'est-à-dire pour comparer et exprimer le poids des corps.

Dans les recherches scientifiques, le gramme représente l'unité comparative de poids. On l'obtient en remplissant d'eau distillée à 4° un vase cubique dont tous les côtés, comme en fig. 10, ont un centimètre de longueur ; le poids de cette eau sera de un gramme.



Fig. 10.

Ainsi, quand je dis, « un tel corps pèse quatre-vingts grammes, » il en résulte que si je mets ce corps sur l'un des plateaux de la balance, il faudra, pour lui faire équilibre, que je mette sur l'autre plateau quatre-vingts centimètres cubes d'eau. Mais il est clair que si je prends de petits morceaux de métal dont chacun pèse exactement autant qu'un centimètre cube d'eau, ce sera plus commode pour peser. Le nombre de grammes ou de kilogrammes que pèse un corps se nomme son *poids absolu* (1).

(1) Pour éviter toute confusion dans l'esprit du lecteur, nous ferons observer que l'auteur allemand nomme *poids absolu* ce que M. Gannot et d'autres auteurs français nomment le *poids relatif*, tandis qu'ils désignent sous le nom de *poids absolu* la pression qu'un corps exerce sur l'obstacle qui l'empêche de tomber, ainsi l'effet non déterminé de la pesanteur.

(Note du traducteur.)

Dans le commerce, l'unité de poids comparative est ordinairement la livre. Il serait bien commode que la livre fût exactement de la même grandeur dans tous les pays, mais il n'en est malheureusement pas ainsi, comme le démontre le tableau suivant :

1 livre équivalent à	560 grammes	en Autriche et en Bavière.
1 » »	500	» en Prusse, dans les grands-duchés de Hesse, de Nassau, de Brunswick et à Francfort-s/Mein (1).
1 » »	484	» à Hambourg.
1 » »	467	» en Saxe, en Hanovre, dans le Wurtemberg et la Hesse électorale.
1 » »	455	» en Angleterre.
1 kilo	1000	» en France et en Belgique.

19. Densité. Sur un plateau de la balance, je place un centimètre cube d'eau et sur l'autre un centimètre cube de plomb. Comme il se trouve, des deux côtés, des masses d'une égale étendue, on devrait s'attendre à ce qu'il y eût équilibre. Mais ce n'est pas du tout le cas, car, pour faire équilibre à un seul centimètre cube de plomb, il faut que je mette sur l'autre plateau onze centimètres cubes d'eau. Si au lieu de plomb, on avait pris un centimètre cube de mercure, il aurait fallu treize centimètres cubes d'eau, et pour un centimètre cube d'or, il en aurait fallu dix-neuf d'eau pour maintenir l'équilibre.

Si nous faisons la même expérience avec un centimètre cube d'eau et un centimètre cube d'esprit-de-vin, il faudra au contraire augmenter la quantité d'esprit de vin ou diminuer celle de l'eau, pour maintenir l'équilibre. L'huile de térébenthine, de pavot et d'autres huiles seront dans le même cas par rapport à l'eau.

Il en résulte de la manière la plus évidente que des corps différents contiennent dans un même espace une quantité inégale de particules. En supposant celles-ci plus ou moins serrées les unes contre les autres, on comprend facilement que, dans des parties égales d'espace, il y ait, pour des corps différents, des masses inégales, et que, par conséquent, ces corps aient une *densité* différente.

Un centimètre cube de plomb contient onze fois autant de masse qu'un centimètre cube d'eau, et pèse par conséquent onze fois autant. L'esprit-de-vin et les huiles, par contre, sont moins denses que l'eau.

Dans la vie ordinaire, on nomme *légers* les corps qui occupent un espace proportionnellement grand et contiennent peu de masse, comme, par exemple, le liège, etc.

On a comparé la densité de la plupart des corps solides et liquides

(1) Cette livre est celle adoptée par l'union douanière allemande.

à celle de l'eau, et le nombre exprimant *combien de fois un centimètre cube d'un corps pèse plus ou moins qu'un centimètre cube d'eau*, se nomme la *densité* ou le *poids spécifique* de ce corps.

Nous donnons ici ces nombres pour quelques-uns des corps les plus connus :

CORPS.	DENSITÉ.	CORPS.	DENSITÉ.
Liège	0,240	Soufre	2 053
Bois de peuplier (sec).	0,583	Pierre de grès	2,550
Bois de tilleul (id.).	0,459	Basalte.	2,600
Sapin blanc (id.).	0,553	Verre de bouteille	2,660
Bois de hêtre	0,590	Aluminium (forgé)	2,670
Bois de noyer.	0,677	Marbre.	2,717
Éther	0,715	Granit	2,800
Alcool (anhydre)	0,795	Diamant	5,5-0
Potassium	0,865	Barytine, spath pesant	4,426
Essence de térébenthine.	0,872	Chrome	5,900
Glace	0,916	Antimoine	6,712
Huile de pavot	0,929	Zinc	7,057
Sodium	0,972	Fer (forgé)	7,788
Vin du Rhin	0,999	Acier.	7,816
Eau	1,000	Cuivre (forgé).	8,878
Eau de mer.	1,026	Bismuth	9,822
Lait	1,050	Argent	10,474
Bois de chêne	1,170	Plomb	11,352
Phosphore	1,826	Mercure	15,598
Acide sulfurique	1,848	Or.	19,325
Ivoire	1,917	Platine	22,100

20. Détermination de la densité. Il résulte de ce qui précède que, pour déterminer la densité d'un corps nous devons connaître deux choses, savoir : 1^o son poids absolu et 2^o le poids d'un égal volume d'eau. En divisant le premier par le dernier, on obtient le poids spécifique du corps.

Pour des liquides cela n'offre pas de difficulté. Car si l'on voulait, par exemple, déterminer la densité de l'acide sulfurique, on pèserait d'abord très-exactement dans une bouteille à goulot étroit mille grammes d'eau, on ferait à la hauteur de l'eau une marque, puis on verserait l'eau. On remplirait ensuite exactement la bouteille jusqu'à la marque d'acide sulfurique, et en pesant celui-ci on trouverait que son poids est de mille huit cent quarante-huit grammes. Par conséquent $\frac{1848}{1000} = 1,848$ constitue le poids spécifique de l'acide sulfurique.

Pour déterminer le poids spécifique des *corps solides*, on pourrait, comme nous l'avons dit au § 18, faire des cubes égaux de plomb, de bois de soufre, de fer, d'or, etc., et comparer leur poids avec le poids d'un égal cube d'eau. Cependant, non-seulement il serait très-difficile de fabriquer de tels cubes pour obtenir des données suffisamment exactes, mais il existe un autre procédé pour déterminer de la manière la plus exacte le volume de tout corps, quelles qu'en soient la forme et la grandeur. Nous verrons ce procédé plus tard, et nous reviendrons alors sur la détermination du poids spécifique.

Ce n'est également que plus tard qu'il pourra être fait mention du procédé particulier dont on se sert pour reconnaître la densité des *corps gazeux*.

21. Application. Pour ce qui est des avantages que la connaissance de ces nombres peut nous procurer, il sera facile de les démontrer pour un grand nombre de cas.

Comme, par exemple, chaque corps, dans des circonstances égales d'ailleurs, a toujours une même densité, celle-ci constitue un des caractères les plus importants pour la distinction des différents corps. Si quelqu'un me vendait de l'argent le plus pur, un centimètre cube devrait peser exactement dix grammes et quatre cent soixante-quatorze milligrammes. Si sa densité est moindre, je dois supposer qu'on y a ajouté du cuivre; si elle est plus forte, on y aura ajouté du plomb. Si je fais faire une charpente de bois de chêne pesant onze cent soixante-dix livres, une charpente de bois de sapin, contenant exactement le même cube que l'autre, ne pèsera que cinq cent cinquante livres. Une bouteille qui, remplie d'eau, en contiendra dix livres, devra en contenir dix-huit, lorsqu'on la remplit d'acide sulfurique, car celui-ci a une densité presque double de celle de l'eau, etc.

II. États particuliers de la matière.

22. Dans le § 11, nous avons montré que nous devons nous représenter la matière comme composée de particules extrêmement petites, nommées molécules ou atomes. Si tous les atomes d'un corps étaient d'une nature parfaitement identique, il n'y aurait généralement qu'une espèce de matière. Mais, dans le fait, il existe des atomes de nature très-différente, que la chimie nous apprend à connaître tant en eux-mêmes que dans leurs rapports mutuels.

Mais, indépendamment de la différence qui résulte de la diversité des

atomes, nous remarquons dans les corps des différences d'états qui dépendent de la manière dont les molécules sont liées entre elles ; un exemple très-connu nous est fourni par l'eau, qui peut se trouver à l'état solide, à l'état liquide et à l'état gazeux.

Ces différents états de la matière, que l'on nomme *états d'agrégation*, dépendent des forces moléculaires qui agissent entre les particules et de l'influence de la chaleur.

23. Cohésion. Si nous essayons de séparer les molécules d'un corps, nous rencontrerons une résistance plus ou moins grande. La cause qui tient ces molécules liées avec une certaine force les unes aux autres, de telle sorte qu'elles ne se séparent pas d'elles-mêmes, nous l'attribuons à une force moléculaire particulière que nous désignons sous le nom de *cohésion*.

En la considérant plus attentivement, nous reconnaissons à cette force la propriété caractéristique de n'agir qu'à une *distance incommensurablement petite*. Car si nous cassons du bois, du métal, du verre, la continuité est rompue à la place de la cassure, et elle reste rompue, quelque soin que nous mettions à rapprocher intimement les surfaces cassées. Il n'y a que les corps dont les molécules sont extrêmement mobiles, les liquides, par exemple, que l'on réussit à rapprocher assez pour qu'ils reprennent leur cohésion.

La force de cohésion des molécules d'un corps est absolument sous la dépendance de la chaleur ; elle décroît à mesure que la température augmente. Si l'on s'imagine toute la matière qui constitue la terre, chauffée à une température quelques milliers de fois plus élevée que celle de l'eau bouillante, la cohésion serait rompue entre toutes les molécules de la matière. Si, par contre, la température de la terre était quelques milliers de fois moins élevée, toutes les molécules de la matière auraient une telle adhérence, qu'il serait impossible de les séparer par des moyens mécaniques.

La température ordinaire de notre terre détermine d'autres phénomènes. Nous trouvons des corps qui affectent une forme déterminée et dont les molécules ne se séparent que difficilement ; nous les nommons des *corps solides* ; il en est d'autres dont les molécules adhèrent si peu qu'elles glissent les unes sur les autres et peuvent être facilement séparées : ce sont les *corps liquides*, qui n'affectent pas de forme particulière, mais prennent celle des vases qui les contiennent. Enfin, il est des corps dont les molécules sont tellement écartées par la chaleur, que leur cohésion paraît totalement rompue ; ceux-ci se nomment *corps gazeux* ou *gaz*. Ces derniers n'ont ni une forme particulière, ni un volume déterminé, car celui-ci peut, par une pression extérieure, être agrandi ou diminué à volonté.

Indépendamment de la chaleur, il y a encore l'*arrangement* des molé-

cules qui influe sur la force de cohésion. On sait que le bois se fend plus facilement dans le sens de sa longueur qu'en travers. L'acier trempé est plus cassant que l'acier forgé.

Certaines expressions, qui caractérisent différents degrés de cohésion, telles que dur, fragile, tenace, mou, ductile, malléable, liquide épais, liquide limpide, n'ont pas besoin d'explication particulière.

24. Cristallisation. Une propriété caractéristique de cette force de cohésion des corps, c'est qu'elle a une tendance continuelle à arranger les molécules d'une matière avec une régularité déterminée, de telle sorte qu'il en résulte des corps d'une forme régulière, limités par des faces, des angles et des coins, qu'on nomme *cristaux*. La neige, le sel, le sucre candi en sont des exemples connus.

Mais une foule de causes, et notamment certaines forces naturelles, viennent troubler et contrarier la cristallisation. Nous comprendrons mieux plus tard les conditions dans lesquelles la cristallisation se fait.

25. Élasticité. Lorsqu'un corps a été comprimé par une force extérieure quelconque, ses molécules montrent une tendance à reprendre leur position antérieure.

Cette propriété se désigne sous le nom d'*élasticité*, et les corps se nomment alors *élastiques*.

Les corps possèdent cette propriété à un degré très-inégal. Ainsi, par exemple, une certaine quantité d'air, quelque forte qu'ait été la compression, reprend, dès qu'elle cesse, son volume primitif. L'air est donc parfaitement élastique. Nous pouvons citer encore comme des corps très-élastiques le caoutchouc, les plumes et les cheveux, la baleine, quelques espèces de bois et de métaux, mais surtout l'acier.

Sur beaucoup de corps, comme, par exemple, les liquides, l'argile, etc., l'élasticité s'observe à peine, ou seulement dans des circonstances particulières; on les nomme, en opposition avec les autres, des corps *non élastiques*.

Lorsque, sur une table de marbre, recouverte de suie de lampe, on place tranquillement une bille d'ivoire, celle-ci n'aura, à la place où elle a reposé, qu'un petit point noir. Mais si je laisse tomber la bille sur la table, la bille aura une tache noire arrondie, d'autant plus grande qu'elle est tombée de plus haut. Cela prouve que la bille, au moment de sa chute, s'aplatit, mais qu'en vertu de son élasticité, elle reprend aussitôt sa forme sphéroïde.

L'arc, l'arbalète et les armes de projection des anciens doivent leurs effets à l'élasticité.

Mais son emploi le plus étendu se fait en mécanique, et c'est surtout de l'élasticité des fils et des lames de cuivre ou d'acier, nommés res-

sorts, que l'on tire souvent parti comme force motrice. Ce sont de tels ressorts qui abattent la détente de nos fusils, qui ferment nos serrures et nos couteaux de poche; ce sont des ressorts contournés, ou en spirale, qui donnent à nos meubles rembourrés leur élasticité et à nos voitures leur mouvement cadencé. L'importance de l'élasticité ressortira surtout quand nous montrerons que c'est par ces ressorts que nos montres de poche et nos pendules sont mises en mouvement sans poids.

26. Ténacité. La ténacité est la force avec laquelle un corps résiste à la séparation de ses molécules, à la rupture.

Par *ténacité absolue* on entend la force par laquelle un corps résiste à la traction, c'est-à-dire lorsqu'on le tend dans le sens de sa longueur. On comprend facilement que cette ténacité est d'autant plus grande que la coupe transversale du corps est plus grande.

Pour différents usages pratiques, il était important d'évaluer cette force, et on a trouvé que pour rompre un fil de fer d'un millimètre de diamètre, il fallait un poids de soixante kilogrammes.

Pour rompre un fil d'une autre matière, mais du même diamètre, il faut les poids suivants :

Fil de fer battu.....	45	kil.
» d'acier.....	50 à 40	»
» de fer de fonte.....	14	»
» de laiton.....	50 à 60	»
» de cuivre.....	21	»
» ou tube de verre.....	2 $\frac{1}{2}$	»
» de plomb.....	1 $\frac{1}{4}$	»
Bois de chêne.....	18	»
Bois de frêne blanc.....	14	»
Bois de sapin blanc.....	9	»
Corde de chanvre.....	6	»

Dans le cas où l'on voudrait faire des applications pratiques de ces données, il faut, pour la sécurité, n'admettre que le tiers de la ténacité indiquée.

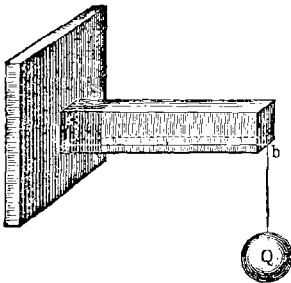


Fig. 11.

ou la tige est soutenue dans le milieu, tandis que deux charges égales

27. Par *ténacité relative* on entend la résistance qu'oppose un corps à la pression. Dans les expériences faites pour déterminer cette ténacité, on a tenu compte de différents cas. Ou le corps à casser est fixé contre une paroi comme dans la fig. 11, et la force agit à l'extrémité de son axe longitudinal; ou bien la poutre

agissent à ses deux extrémités (fig. 12) ; enfin, un troisième cas est celui

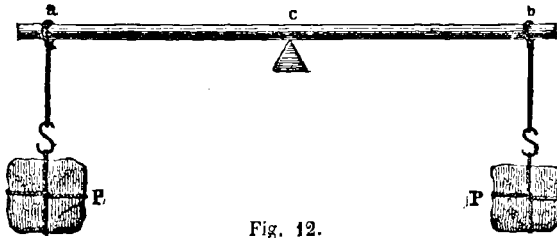


Fig. 12.

où un bâton, reposant sur ses deux extrémités, doit être cassé par un poids agissant sur son milieu (fig. 13).

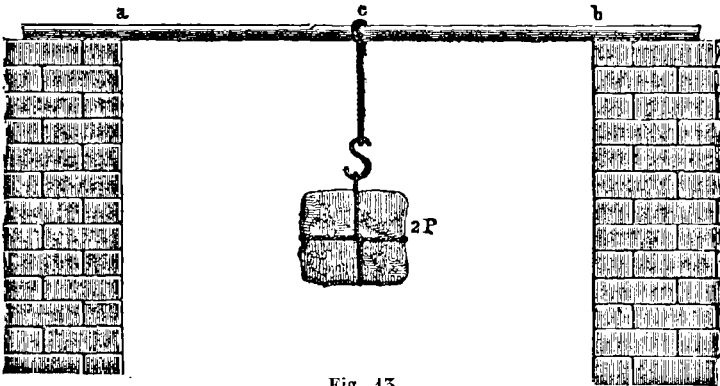


Fig. 13.

Il résulte de conclusions que nous mentionnerons plus tard, en parlant des lois du levier, que la force nécessaire pour la rupture doit s'accroître en proportion directe de la largeur de la poutre et du carré de sa hauteur, et en proportion inverse de sa longueur.

Dans ces expériences, la flexibilité exerce une grande influence. Pour casser une poutre reposant librement sur ses deux extrémités, comme dans la fig. 13, il ne faut que la moitié du poids qui serait nécessaire si les deux extrémités étaient fixées de manière à ne pas pouvoir céder.

28. Adhésion. Lorsqu'on pose deux disques plats, par exemple, de métal ou de verre, l'un sur l'autre, ils restent accolés avec une certaine force, de telle sorte qu'on peut réussir à soulever l'inférieur par le supérieur.

En général, l'observation apprend que lorsqu'on met deux corps quelconques en contact, ils adhèrent plus ou moins fort l'un à l'autre.

On explique cela par l'attraction qu'exercent les molécules situées à la

superficie d'un corps sur les molécules superficielles de l'autre corps. Plus donc il y aura de molécules en contact, plus l'attraction sera forte. En effet, deux sphères qui ne se touchent qu'en un point ne montrent pas d'attraction sensible, tandis que des plateaux adhèrent d'autant plus intimement ensemble que leurs surfaces sont plus grandes et plus unies.

Cette attraction entre les surfaces de différents corps se nomme *adhésion* et n'agit également qu'à des distances infiniment petites. Elle n'existe du reste pas seulement entre des corps solides, mais mutuellement entre des corps solides, liquides et gazeux. L'air surtout adhère avec une grande ténacité à la surface des corps solides. L'adhésion des liquides à des corps solides se nomme *humectation*; la peinture, le badigeonnage, le collage, le masticage, etc., ne sont que des applications de l'adhésion à des usages pratiques.

29. Par contre, il est surprenant que certains liquides n'adhèrent ni à des corps solides, ni à des corps liquides. Que l'on plonge, par exemple, un tube de verre dans de l'eau ou dans de l'huile, les deux liquides adhéreront un peu au tube; tandis que si on le plonge dans le mercure, cela n'a pas lieu. Si l'on enduit préalablement le tube de graisse, il ne sera plus humecté par l'eau. L'eau et l'huile ne se mélangent pas. Il paraîtrait même qu'entre les molécules du tube et du mercure et entre celles de l'huile et de l'eau, il n'existe non-seulement pas d'attraction mais, au contraire, il y a répulsion. Mais si nous admettons que la cohésion des molécules d'un liquide peut être plus forte que leur adhésion à des corps solides ou liquides, ces phénomènes s'expliquent sans devoir recourir à une force répulsive particulière.

30. Quand on plonge, par conséquent, un tube de verre dans de l'eau et un autre dans du mercure, les deux liquides ne formeront pas, dans les tubes, des niveaux parfaitement plans. L'eau, en vertu de son adhésion au verre, s'élèvera contre les parois, et la surface sera de cette manière concave, comme dans la fig. 14, tandis que le mercure, qui n'adhère pas au verre, formera une convexité demi-sphérique (fig. 15).



Fig. 14.

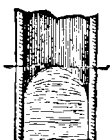


Fig. 15.



Fig. 16.



Fig. 17.

Mais, lorsqu'on prend pour cette expérience des tubes très-étroits, l'eau ne s'élèvera pas seulement au bord, mais elle montera dans le tube, tandis que le mercure sera plus bas à l'intérieur qu'à l'extérieur du tube (fig. 16 et 17).

Les petits tubes très-étroits se nomment des tubes capillaires, et on a nommé pour cette raison *capillarité* la force avec laquelle les liquides s'y élèvent.

Les liquides s'élèvent dans les tubes capillaires d'autant plus haut que ceux-ci sont plus étroits, n'importe de quelle matière ils soient composés, pourvu qu'ils soient mouillés par les liquides. C'est pourquoi nous voyons des corps poreux absorber et retenir les liquides avec une grande force; les pores, dans ce cas, ne représentent pas autre chose qu'une infinité de tubes capillaires irrégulièrement agglomérés.

Du sucre blanc, du bois, du grès, même un tas de sable ou de cendre présentent les mêmes phénomènes. Des murs de pierres poreuses, situés dans un sol humide, resteront toujours humides, et un tas de sable sec sera, dans les mêmes circonstances, bientôt envahi par l'eau jusqu'à son sommet. La propriété de la mèche de lampe et du papier brouillard d'absorber de l'eau et de l'huile, ainsi qu'une foule d'autres phénomènes, s'expliquent par le même genre d'attraction.

31. Endosmose. Lorsque deux liquides différents sont séparés par

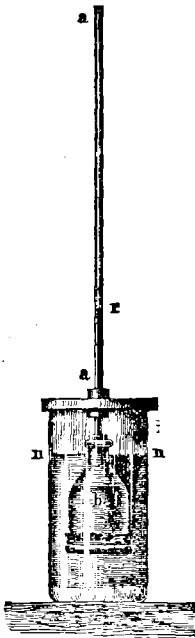


Fig. 18.

La manière dont elle a lieu ne dépend pas seulement de la nature des liquides,

mais encore de la cloison. L'esprit-de-vin passe plus facilement à travers une membrane de caoutchouc que l'eau ; si l'on emploie la vessie, le contraire a lieu.

Ces phénomènes ont puissamment attiré l'attention des naturalistes, parce que ce sont des phénomènes de cette nature qui prennent la plus grande part au mouvement des liquides dans le corps des animaux et des plantes, mouvements qui, sans cela, ne s'expliqueraient pas, comme, par exemple, l'élévation de la sève dans les arbres, qui se fait par endosmose continue d'une cellule à parois très-minces dans la cellule voisine.

32. Absorption des gaz. Différents faits prouvent qu'il existe également une attraction mutuelle entre les corps gazeux et les corps solides.

Quand on verse, par exemple, de l'eau dans un vase en verre, on en chasse à la vérité l'air. Mais, dès que l'on met ce vase sur un poêle chaud, on voit insensiblement tout le fond intérieur du vase se couvrir de petites vésicules d'air, semblables à des perles. Celles-ci proviennent de l'air que les parois du verre ont retenu par adhésion et qui apparaît maintenant, dilaté qu'il est par la chaleur.

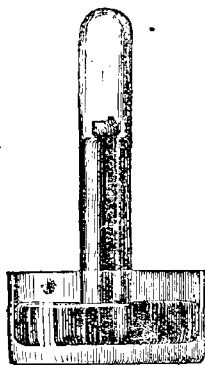


Fig. 19.

L'expérience suivante est encore plus frappante. Dans une cloche de verre (fig. 19), contenant de l'acide carbonique isolé par du mercure, on place un morceau de charbon de bois récemment carbonisé. Ce dernier exerce sur le gaz acide carbonique une telle attraction, qu'il le condense et l'avale pour ainsi dire, ce que l'on reconnaît aussitôt à la diminution du gaz et à l'élévation du mercure.

Le charbon absorbe vingt fois son volume d'acide carbonique. Nous devons nous figurer que la surface de tous les corps solides est recouverte d'une couche d'air condensé. En chimie, nous rencontrerons encore des exemples frappants qui se rapportent à ce fait. Nous verrons que l'inflammation spontanée du charbon finement pulvérisé dans les fabriques de poudre est occasionnée par l'absorption du gaz oxygène. Les gaz sont encore absorbés à un degré plus élevé par les liquides. Mais tous les gaz ne se comportent pas de même. Tandis que l'eau n'absorbe que dix-huit millièmes de son propre volume d'air atmosphérique, elle peut dissoudre 500 fois son volume d'acide chlorhydrique et 700 fois son volume de gaz ammoniac.

III. Équilibre et mouvement.

33. Dans cette division, nous soumettrons à notre examen une série de phénomènes qui se présentent chaque jour à nos yeux dans la vie ordinaire et qui, pour cette raison, méritent une attention particulière de notre part. Nous comptons ici, avant tout, le *mouvement*, qui anime toute la nature sous les formes les plus diverses, depuis celle de l'ouragan déchaîné jusqu'à celle du battement régulier de notre pouls; le mouvement que nous mettons toute notre science et notre art à produire à différents degrés, dans la locomotive, courant avec la rapidité de la flèche, comme dans la *marche lente et invisible de l'aiguille de la montre*.

Mais lorsque nous examinons plus attentivement un mouvement quelconque, il se présente aussitôt trois questions : Quelle est la cause du mouvement? — quel est l'objet qui se meut? — et comment le mouvement a-t-il lieu? Nous trouvons de cette manière notre sujet tout coordonné. Nous parlerons en premier lieu des causes du mouvement ou *des forces*. Après cela, nous démontrerons que les phénomènes du mouvement sont très variés, selon l'état des corps, de sorte que les matières solides, liquides et gazeuses, devront, sous ce rapport, être soumises à un examen particulier.

A. ÉQUILIBRE ET MOUVEMENT DES CORPS SOLIDES.

34. Des forces. Nous avons déjà démontré, au § 5, que chaque phénomène observé dans un corps doit être le résultat de l'action d'une force. L'essence intime des forces qui agissent dans la nature nous est totalement inconnue. Ce que nous en savons et ce que nous en communiquons, n'est que l'expression aussi exacte que possible des effets qui se manifestent à nos sens. Mais nous devons bien nous garder de considérer les forces comme des entités isolées, qui agiraient sur la matière à peu près comme la volonté de l'homme quand elle détermine les mouvements de notre corps. La force est liée inséparablement à la matière. Là où il y a de la matière, elle se manifeste également comme force, et vice versa; là où l'effet d'une force se manifeste, il y a aussi un corps dont elle dépend et un autre sur lequel elle agit. Sans cela, nous ne saurions rien ni de la force, ni de la matière.

35. Néanmoins, pour notre but, nous pouvons considérer les forces isolément, et nous le faisons ici pour les forces que nous considérons comme les causes des divers phénomènes du mouvement.

Ces forces sont diverses. L'une d'entre elles est la pesanteur (§ 14) qui, dans la plupart des cas, est la cause unique ou concurrente des phénomènes du mouvement. Comme autres causes motrices, nous connaissons l'attraction magnétique et électrique, la force expansive de la chaleur, ainsi que cette force au moyen de laquelle les hommes et les animaux sont en état de mouvoir non-seulement leur propre corps, mais encore des corps étrangers, et celles qui déterminent, à l'intérieur du corps des animaux et des plantes, les phénomènes particuliers de la vie.

Dans l'étude des lois générales du mouvement, il est du reste parfaitement indifférent de quelle cause le mouvement provient.

36. L'intensité d'une force se reconnaît par son effet. Mais celui-ci ne se manifeste nullement chaque fois comme mouvement. Ainsi, une pierre qui repose sur la table, ou qui est suspendue à un fil, exerce une pression ou une traction, en vertu de la pesanteur qui agit sur elle, et nous possédons différents moyens de mesurer son effet. Si nous nous imaginons une forte lame d'acier élastique, telle qu'on l'emploie pour l'arc ou l'arbalète, une force sera d'autant plus grande qu'elle parviendra davantage à plier la lame. Déjà les récits bien anciens d'Illomère nous apprennent que le héros Ulysse possédait plus de force que les prétendants, parce qu'ils étaient incapables de tendre son arc.

Dans les fig. 20 et 21, nous voyons de ces lames d'acier recourbées dans leur milieu. Ce sont des dynamomètres au moyen desquels on peut exprimer en poids les forces différentes, telles que les efforts de l'homme ou ceux d'un cheval.

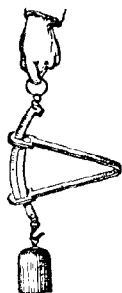


Fig. 20.

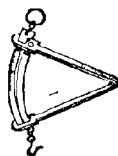


Fig. 21.

Dans les cas où l'effet d'une force se manifeste comme mouvement, il faut, pour exprimer la grandeur de la force, tenir compte autant de la masse, c'est-à-dire du poids, que de la vitesse du corps mis en mouvement. Deux forces sont égales lorsqu'elles communiquent en temps égaux à des masses égales une vitesse égale, ou lorsque les masses se trouvent dans un rapport inverse avec la vitesse qui leur est communiquée. Cela arrive lorsque les produits de la multiplication de chaque masse par sa vitesse sont égaux. Par exemple, la masse 4 a la vitesse 2, et la masse 2 a la vitesse 4. Dans les deux cas, le produit de la multiplication est = 8; par conséquent, les deux forces motrices étaient égales.

On désigne en mécanique par *quantité de mouvement*, le produit que l'on obtient en multipliant la masse du corps mis en mouvement par sa vitesse.

Les effets des machines s'estiment, au point de vue mécanique, par le travail qu'elles sont capables d'exécuter en un temps donné. Le travail d'une force est le produit de son intensité par le chemin parcouru dans sa direction. On prend pour unité de travail le kilogrammètre, c'est-à-dire le travail nécessaire pour élever en une seconde le poids d'un kilogramme à un mètre de hauteur. Les grandes quantités de travail s'expriment en chevaux-vapeur, qui sont censés égaux chacun à 75 kilogrammètres.

a) DE L'ÉQUILIBRE DES FORCES.

37. Lorsque plusieurs forces agissent simultanément sur un corps, sans qu'il se manifeste dans l'état de celui-ci une modification quelconque, leurs effets doivent respectivement s'annuler, et l'on dit dans ce cas *que les forces s'équilibrent*, ou bien que le corps se trouve en *équilibre*. Il est indifférent pour cela que le corps se trouve en mouvement ou en repos. Que, par exemple, une locomotive marchant avec une vitesse uniforme arrive à une montée, mais qu'en même temps sa force de vapeur reçoive une augmentation correspondant exactement à cet obstacle, elle continuera à marcher avec sa vitesse antérieure; c'est comme si les deux forces n'existaient pas, puisqu'elles se font équilibre.

Nous reviendrons sur l'équilibre des corps en parlant du centre de gravité.

38. *Composition des forces.* On comprend facilement que, dans la plupart des cas, l'effet que produisent plusieurs forces, agissant simultanément sur un corps, pourrait être remplacé par une seule force. La force de traction de plusieurs hommes peut être remplacée par celle d'un cheval, et les efforts de plusieurs chevaux par une machine à vapeur. Cependant dans l'action simultanée de plusieurs forces, il y a différents cas bien distincts. Par exemple, plusieurs forces peuvent agir dans la même direction et dans le même sens; en ce cas, leur effet sera naturellement égal à leur somme. Si les forces agissent dans la même direction, mais en sens opposé, l'effet sera égal à leur différence.

D'autres cas, et de fort importants, sont ceux où plusieurs forces agissent sur un corps, soit dans une direction parallèle, soit de manière à former entre elles un angle. Nous allons entrer dans quelques détails relatifs à ces cas, et nous ferons observer d'une manière générale que la force qui remplace exactement plusieurs autres forces, se nomme la *résultante*, tandis que les forces que cette dernière remplace se nomment les *composantes*.

39. Forces parallèles. Une barre de bois AB (fig. 22) est pourvue dans son milieu d'un axe en acier, dont le couteau repose sur un support convenable CD , de telle manière qu'il puisse tourner librement sur son axe. Cette barre est divisée en un certain nombre de parties égales, et exactement sous chaque marque de division on adapte un petit anneau. Abandonnée à elle-même, cette barre prend une position parfaitement horizontale. Comme forces parallèles, nous nous servons d'un certain nombre de poids qui sont égaux entre eux et qui sont pourvus supérieurement et inférieurement de petits crochets.

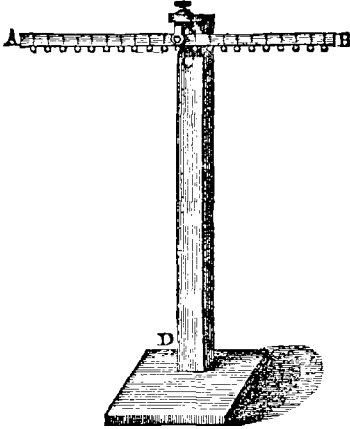


Fig. 22.

Nous suspendons deux poids à deux points quelconques de la barre, mais à égale distance du milieu, par exemple de chaque côté au quatrième anneau (fig. 23), et nous voyons que la position de la barre reste horizontale. La même chose a lieu si nous mettons les deux poids l'un au-dessous de l'autre au milieu (fig. 24). Nous pouvons aussi démontrer, au moyen du

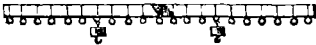


Fig. 23.



Fig. 24.

dynamomètre (v. § 36), que ces deux forces exercent exactement la même pression sur le support, que les poids soient suspendus au milieu ou à égales distances de ce milieu.

Nous en concluons : que deux forces égales et parallèles peuvent être remplacées par une résultante qui serait égale à leur somme et qui serait appliquée dans le point milieu de la ligne qui les unit; ensuite que deux forces égales et parallèles sont en équilibre, lorsqu'elles agissent à des distances égales du point d'appui ou de rotation d'une barre rectiligne.

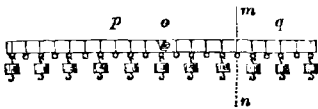


Fig. 25.

On trouvera que cette loi se vérifie encore lorsque, comme dans la fig. 25, on suspend un nombre quelconque de poids, mais chaque fois deux à égale distance du point d'appui o ; et lorsque après on réunit sous le point

de milieu o chaque fois deux poids placés à égales distances (fig. 26).

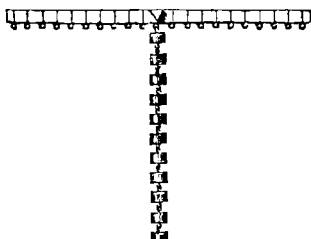


Fig. 26.

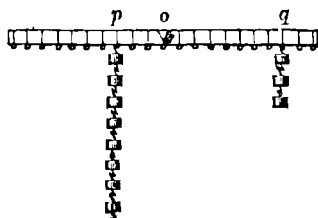


Fig. 27.

Mais concevons la barre divisée par la ligne en mn (fig. 25) en deux parties inégales, on doit évidemment pouvoir appliquer à chaque partie une résultante remplaçant les forces qui agissent sur elle. Les trois poids de la partie la plus courte (fig. 25) exerceront la même action qu'auparavant si on les réunit à leur point milieu en q (fig. 27); de même les 8 poids de la partie la plus longue pourront être réunis dans leur point milieu p sans modifier leur effet. Nous remarquons maintenant sur la barre que deux forces différentes sont en action et se font parfaitement équilibre. Mais ce qui nous frappe surtout, c'est que la résultante 3 est éloignée de 8 divisions de 0, tandis que la résultante 8 n'en est éloignée que de 3 divisions.

Il ressort de là une loi importante : lorsque deux forces, agissant parallèlement sur un corps, sont inégales, elles peuvent être remplacées par une résultante égale à leur somme ; mais le point d'application partage la distance des points d'application des forces composantes en deux parties inégales, inversement proportionnelles aux grandeurs des composantes. Comme application à l'expérience ci-dessus, nous disons encore : des forces inégales appliquées à une barre se tiennent en équilibre, lorsqu'elles sont appliquées à une distance inversement proportionnelle du point d'appui.

Nous aurons plus tard l'occasion de revenir aux résultats pratiques qu'on tire de l'application de ces lois aux leviers (v. §§ 45 et 48).

40. Centre de gravité. Ainsi que nous l'avons dit au § 11, nous parlons en physique de la supposition que chaque corps est composé d'un grand nombre de molécules infiniment petites ou d'atomes. Comme la pesanteur agit sur chacun de ces atomes d'une manière isolée et en direction parallèle, il doit se trouver, dans chaque corps, un point où la somme de ces forces parallèles agit comme résultante. Ce point se nomme le cen-

tre de gravité du corps. Lorsqu'une force correspondante agit sur ce point en sens opposé, ce qui a lieu quand un corps est soutenu ou suspendu à son centre de gravité, ce corps se trouve en équilibre.

La fig. 28 doit représenter un corps composé de 3 atomes, a b b , et les flèches indiquent la direction qui agit sur eux. Il y aura ici évidemment équilibre entre les forces, si nous soutenons ou



Fig. 28.

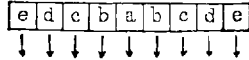


Fig. 29.

suspendons ce corps par a . La même chose arrive pour le corps suivant, fig. 29, qui se compose d'un plus grand nombre d'atomes. Lorsque le centre de gravité d'un corps est soutenu, l'effet de la pesanteur sur ce corps paraît suspendu ; cette force ne peut plus produire ni un mouvement de ses parties, tel qu'un balancement, ni un mouvement du corps lui-même, tel que sa chute, par exemple. Il peut donc être, dans bien des cas, très-important de déterminer, dans des corps donnés, la position du centre de gravité. Comme il ressort de l'examen des fig. 28 et 29, cela n'offre aucune difficulté pour les corps qui n'ont qu'une étendue linéaire, qui se composent d'une seule rangée d'atomes. Chez ceux-ci le centre de gravité est situé au milieu de la ligne. Prenant ce fait pour base, il est facile de démontrer que, dans tous les corps réguliers, tels que la sphère, le cube, le cylindre, les prismes, etc., le centre de gravité coïncidera avec le centre de figure.

Le centre de gravité d'un triangle se trouve en tirant des points milieux D et E de deux côtés les lignes DA et EB (fig. 30) dans les angles opposés.

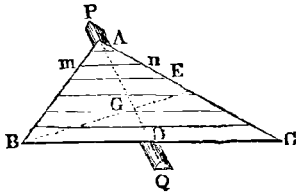


Fig. 30.

Le point d'intersection G des deux lignes est le centre de gravité du triangle et se trouve toujours au tiers de sa hauteur à partir de la base. Si l'on se figure ce triangle entièrement divisé en bandes linéaires parallèles au côté BC , le centre de gravité de chacune de ces lignes doit tomber dans la ligne DA , puisqu'elle les divise toutes en deux

parties égales. Et en effet, quand on place ce triangle dans la direction de cette ligne médiane DA sur un coin aigu PQ , il se trouve en équilibre. Figurons-nous maintenant des bandes linéaires parallèles au côté AC , le centre de gravité de chacune de ces lignes doit tomber dans la ligne EB , qui coupe DA en G . Il s'ensuit que G , comme point commun des deux lignes médianes, est le centre de gravité de tout le triangle.

Dans des corps irréguliers, le centre de gravité se trouve à la partie où est la plus grande masse. Dans la pyramide et le cône, il se trouve évidemment plus de masse à la partie située à proximité de la base, que vers le sommet. Dans ces corps, le centre de gravité se trouve en effet dans le quart de leur hauteur à partir de la base. Lorsqu'un objet est composé de matières de densités différentes, comme un marteau, par exemple, de bois et de fer, on détermine d'abord le centre de gravité de chaque partie isolément, et on les réunit par une droite, dans laquelle se trouve le centre de gravité commun, d'après la loi développée au § 39.

41. Comme le centre de gravité se trouve à l'intérieur des corps, il ne peut naturellement pas être immédiatement soutenu. Cependant, il paraît soutenu tant que la verticale partant du centre de gravité tombe à l'intérieur de la base d'appui, ou en dedans de la surface que circonscrivent les points d'appui, comme dans une table, une chaise, chez le cheval, etc.

Une pierre ou une poutre placée obliquement, où, comme fig. 31, la

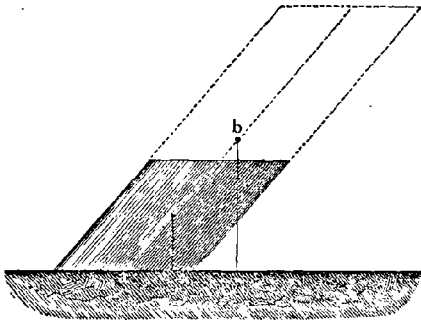


Fig. 31.

verticale tirée du centre de gravité coupe encore l'intérieur de la base, ne peut pas tomber. Mais si elle avait la longueur figurée par les lignes pointillées, son centre de gravité se trouverait près de *b*, et elle devrait nécessairement tomber.

Un corps est d'autant plus stable que sa base est plus large et que la masse principale est plus rappro-

chée de la base. C'est sans doute pour cette raison que les Égyptiens avaient choisi pour leurs monuments gigantesques et séculaires la forme de pyramide.

Les hommes et les animaux, dont les parties se meuvent, changent à chaque instant la position de leur centre de gravité. C'est pour cette raison que celui qui porte une charge sur le dos, se penche en avant ; celui qui porte la charge dans la main droite tend le bras opposé en l'air ; et instinctivement chacun, quand il est sur le point de tomber d'un côté, cherche à éviter la chute en étendant les bras du côté opposé.

42. Dans un corps tournant autour de son axe horizontal, le centre de gravité peut se trouver dans cet axe même, au-dessus ou en dessous, et un tel corps se comportera bien différemment dans le cas où un choc extérieur agirait sur lui. Tant que, par exemple dans un disque

(fig. 32), le centre de gravité et l'axe de rotation coïncideront en *a*, le disque se trouvera en équilibre, quelle que soit la position qu'on lui donne;

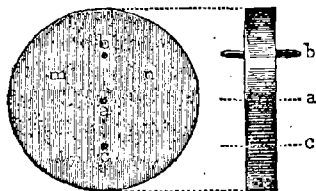


Fig. 32.

on désigne pour cette raison cet état sous le nom d'*équilibre indifférent*. Mais si l'on applique l'axe de rotation en *b*, le centre de gravité du disque arrivera en dessous du point de rotation. Chaque fois qu'on commencera à tourner le disque et qu'on l'abandonnera à lui-même, il retournera immédiatement de lui-même dans sa position d'équilibre.

On désigne ce cas sous le nom d'*équilibre stable*. Si, par contre, l'axe du disque passe par *c*, tandis que le centre de gravité *a* se trouve au-dessus, à la moindre impulsion, le disque décrira une demi-rotation, c'est-à-dire jusqu'à ce que le centre de gravité *a* revienne se placer verticalement sous l'axe. On nomme avec raison ce troisième état *l'équilibre instable*.

Quand, par conséquent, des corps peuvent se mouvoir librement autour de leur axe, ce qui a lieu, par exemple, pour ceux qui se trouvent dans l'air ou dans l'eau, ils prennent toujours d'eux-mêmes une position telle que le centre de gravité se trouve perpendiculairement sous l'axe de rotation, ou, comme on dit ordinairement, le centre de gravité cherche toujours à occuper la position la plus basse possible.

43. Parallélogramme des forces. Il arrive fréquemment qu'un corps est simultanément sollicité par deux forces dont les directions forment ensemble un angle. On comprend facilement que, dans ce cas, le corps ne peut obéir ni à l'une ni à l'autre force exclusivement, mais que son mouvement devra être composé. Un exemple manifeste de ce genre nous est fourni par un bateau qui est chassé par le vent à travers un fleuve et que le courant pousse à la dérive.

Dans l'examen de ces cas, nous ne représenterons plus, comme jusqu'ici, les forces agissantes par des poids, mais par des lignes; celles-ci n'indiquent pas seulement la direction, mais encore la longueur du chemin franchi par le corps en un temps déterminé, et donnent ainsi une idée très-exacte de la force qui agit. Des forces égales correspondent à des lignes égales, des forces inégales, par exemple, 1, 2, 3, sont représentées par des lignes d'une longueur simple, double ou triple.

44. Pour trouver maintenant le chemin que parcourt ce bateau chassé simultanément dans des directions différentes par le vent et par le courant de l'eau (fig. 33), nous admettons pour un moment que le courant agisse seul et emmène en une heure de temps le bateau de *a* en *b*; ensuite qu'à partir de ce point le courant cesse, qu'il n'y ait plus que le vent qui agisse

et que celui-ci chasse en une heure le bateau à travers le fleuve vers d . Lorsque les forces n'agissent pas l'une après l'autre, mais simultanément, n'est-il pas probable qu'elles produiront dans la moitié de temps le même effet, c'est-à-dire qu'elles amèneront le bateau en une heure en d , et cela par un plus court chemin? Il en est effectivement ainsi. Car si nous nous figurons, comme tout à l'heure, les forces agissant séparément,

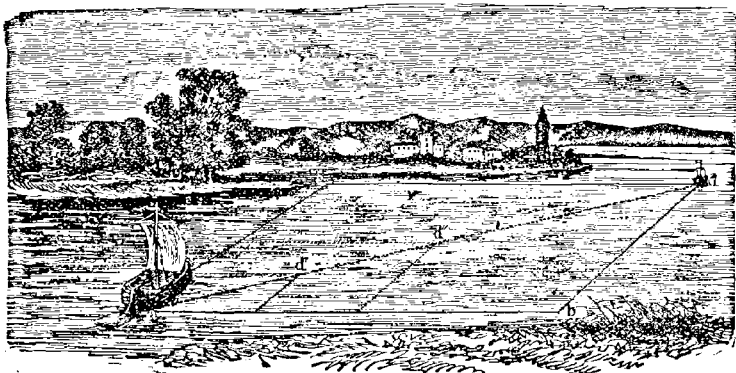


Fig. 33.

mais pendant des espaces de temps plus courts, par exemple, pendant un quart d'heure, une demi-heure, le bateau arriverait aux points d' et d'' , points qui se trouvent dans la ligne directe de a en d . Si nous continuons cette investigation pour des espaces de temps de plus en plus courts, pour des minutes, pour des secondes, nous arriverons finalement à ce résultat, que deux forces agissant simultanément sur un corps sous un angle quelconque le feront mouvoir dans la direction de la diagonale ad d'un parallélogramme $abcd$, indiqué par les forces composantes ab et ac .

Il en est résulté la loi suivante du parallélogramme des forces :

Lorsque deux forces agissent angulairement sur un corps, la résultante, tant pour la grandeur que pour la direction, est représentée par la diagonale du parallélogramme construit sur les forces composantes.

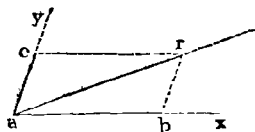


Fig. 34.

Sur le point a (fig. 34), agissent deux forces composantes ab et ac dans les directions ax et ay . La résultante sera, d'après ce qui précède, ar .

Lorsque plus de deux forces agissent simultanément dans des directions différentes sur un point, il n'est pas difficile de trouver la résultante. Quand on a trouvé la résultante de deux forces, on construit, avec

celle-ci et la troisième force, un parallélogramme dont la diagonale est la résultante des trois forces.

On comprend en outre que toute force peut être remplacée ou décomposée, en faisant agir à sa place deux autres forces placées d'une manière convenable. Car si, dans la fig. 34, les deux forces $a b$ et $a c$ peuvent être remplacées par $a r$, il faut nécessairement aussi que la force $a r$ puisse être remplacée par l'action des deux forces $a b$ et $a c$.

En mécanique, on tire souvent parti tant de la composition que de la décomposition des forces.

45. Application. Une barre droite inflexible, qui peut tourner autour d'un point fixe, se nomme un levier. On désigne sous le nom de *bras de levier* les portions du levier comprises entre le point d'appui et le point d'application des forces.

De ce qui a été dit au § 59 sur l'équilibre des forces parallèles, il résulte que deux forces agissant sur un levier sont en équilibre lorsqu'elles sont en rapport inverse de leur bras de levier. Le produit que l'on obtient par la multiplication de la force appliquée à un bras de levier avec ce dernier se nomme le *moment statique* de la force. Il y a par conséquent aussi équilibre au levier lorsque les moments statiques sont égaux.

On distingue le *levier à bras égaux*, le *levier à bras inégaux* et le *levier à bras unique*. Ce n'est cependant que dans le plus petit nombre de cas que le levier a la forme simple d'une barre. On ne croirait effectivement pas que les résultats obtenus par chaque balance, par des ciseaux ou des pinces, par la roue d'un moulin, par une poulie, une clef, une brouette, etc., se font d'après les lois du levier. Cependant, dans tous ces cas, on peut concevoir une ligne droite passant par le point d'appui ou de rotation et sur laquelle les forces agissent. Si les forces ne sont pas dirigées sous un angle droit ou parallèlement, on peut l'effectuer par le parallélogramme des forces. Lorsque plusieurs forces agissent sur un bras de levier, l'effet correspond à la somme de leurs moments statiques.

46. Le levier à bras égaux se trouve en équilibre lorsque les forces qui agissent à chaque bras sont égales. Deux enfants du même poids, par exemple, qui veulent se balancer sur une poutre, devront appuyer la poutre dans le milieu de telle sorte qu'elle forme un levier à bras égaux.

L'application la plus générale de ce levier se trouve dans la balance. Celle-ci se compose du fléau et des deux plateaux; le fléau est divisé en deux bras de longueur égale par un axe possédant une arête tranchante ou un peu arrondie, qui rend les oscillations aussi faciles que possible. Une aiguille placée verticalement sur le fléau sert à déterminer de la manière la plus exacte les déviations de la ligne horizontale subies par le fléau. Le centre de gravité du fléau doit être situé un peu en dessous de l'axe de rotation.

Nous avons alors un exemple de l'équilibre stable (§ 42), et le fléau, soit seul, soit avec les deux plateaux également chargés, prendra une direction horizontale, et il y retournera de lui-même s'il a été dérangé ou si l'on a fait jouer la balance. Si le centre de gravité coïncidait avec l'axe de rotation, ce serait un exemple de l'équilibre indifférent, et, avec une charge égale des plateaux, la balance se tiendrait en équilibre non-seulement dans la direction horizontale, mais dans toute espèce de direction du fléau. Mais le centre de gravité d'un fléau ne doit pas davantage se trouver au-dessus du point de rotation, car alors on aurait l'équilibre instable, et la moindre surcharge d'un plateau ferait retourner la balance, c'est-à-dire que le fléau prendrait une direction perpendiculaire, puisque son centre de gravité se rendrait sous l'axe de rotation.

Une balance n'est juste que lorsque ses bras ont exactement la même longueur et lorsque les points de suspension des plateaux se trouvent en ligne droite avec le point de rotation. La sensibilité d'une balance est d'autant plus grande, que ses bras sont plus longs, le fléau plus léger et le centre de gravité plus rapproché du point de rotation. Pour éprouver une balance on met dans l'un de ses plateaux un poids quelconque et on charge l'autre plateau jusqu'à ce que la balance soit en équilibre ; on échange alors les poids des deux plateaux, et si l'équilibre n'est pas dérangé, la balance est juste.

Dans les cas qui réclament une grande exactitude, on emploie ce qu'on nomme la double pesée. Sur l'un des plateaux, je mets le corps dont je veux déterminer le poids, sur l'autre plateau je mets autant de sable ou de plomb de chasse qu'il en faut pour établir l'équilibre. J'enlève alors le corps, et à sa place je mets autant de poids qu'il en faut pour rétablir l'équilibre. Il est évident que les poids employés m'indiqueront de la manière la plus exacte le poids de ce corps, et cela même dans le cas où la balance ne serait pas tout à fait juste.

74. La poulie fixe (fig. 35) consiste en un disque dont la circonfé-

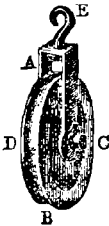


Fig. 33.

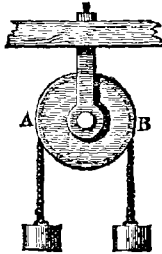


Fig. 36.

rence est pourvue d'une gorge destinée à recevoir une corde ; son axe de rotation passant par le centre est soutenu par une chape embrassant la poulie et fixée de manière que la poulie ne puisse exécuter d'autre mouvement que la rotation. Figurons-nous une telle poulie (fig. 36), et une horizontale traversant le centre dans la direction *AB* : elle nous représente le levier à bras égaux ; lorsque des forces égales agiront à ses extrémités, il y aura équilibre. On ne peut

donc pas, avec la poulie fixe, modifier l'intensité d'une force, mais seulement sa direction; c'est pourquoi on la nomme aussi poulie de renvoi et qu'on l'emploie fréquemment avec avantage en cette qualité. Elle sert aussi utilement pour faciliter le déplacement d'objets suspendus, des lustres, par exemple; car ils sont maintenus en équilibre par un *contre-poids* adapté de l'autre côté de la poulie.

48. Le levier à bras *inégaux* nous frappe par ses effets étonnants. Le poids 6 (fig. 37), agissant sur le bras de levier n , dont la longueur est 5, fait équilibre au poids 10 agissant sur le bras de levier r dont la longueur est 5; car, d'après les lois énoncées aux §§ 59 et 45, les forces agissent en proportion inverse de leur bras de levier, ou parce que leurs moments statiques (§ 45) sont

égaux des deux côtés, car $5 \times 6 = 10 \times 5$. En général, de légères forces agissant sur des bras de levier très-longs suffisent pour lever des charges considérables, ce dont la fig. 58 nous offre un des exemples les plus vulgaires, et on dit qu'Archimède, géomètre grec, après avoir le premier découvert les lois du levier, se serait écrié avec enthousiasme : Donnez-moi un point d'appui, et je soulèverai la terre !

Le levier à bras inégaux trouve son application dans une multitude de cas, comme dans la barre destinée à soulever des fardeaux (fig. 58), dans le pied de chèvre, la bascule, le cric, le treuil, la manivelle, le vilebrequin, la clef, la pince, les ciseaux, etc., etc.

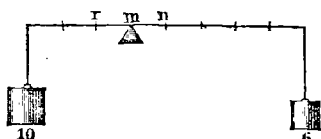


Fig. 37.

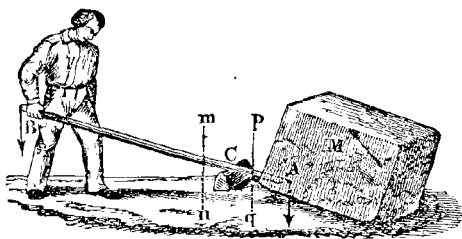


Fig. 58.

La fig. 59 nous montre la *balance romaine*, où la charge P agit sur le bras de levier, plus court AC , tandis que le poids mobile Q glisse sur le bras de levier plus long BC ; ce dernier est divisé en distances égales par

des échancrures, et il est facile de voir que le poids Q devra être appliqué d'autant plus loin du centre, que la charge est plus lourde.

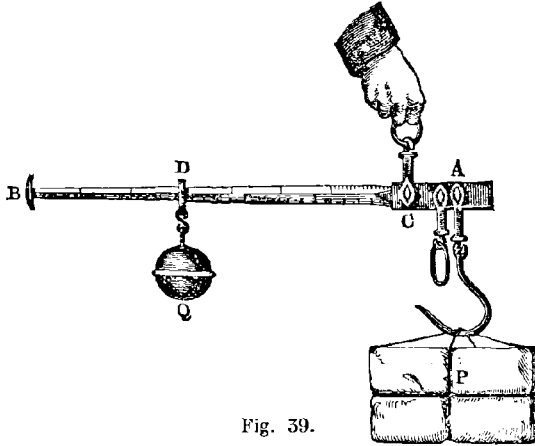


Fig. 39.

49. Le levier à un seul bras est représenté par une ligne droite inflexible qui possède, à une de ses extrémités, un point d'appui fixe, autour duquel deux forces agissant en sens opposé tendent à faire tourner la ligne. Remarquons d'abord qu'au levier à bras égaux $b c d$ (fig. 40), la

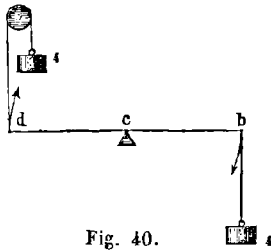


Fig. 40.

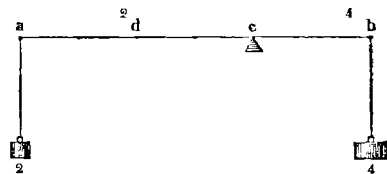


Fig. 41.

force 4 produit le même effet, qu'elle soit appliquée au bras $c b$, de manière à le tirer en bas, ou qu'au moyen de la poulie placée au-dessus de d , elle tire le bras de levier $c d$ vers le haut. Dans les deux cas, le levier tournera avec la même force et dans la direction indiquée par les flèches autour du point d'appui c . Examinons maintenant le levier à bras inégaux, $a c b$ (fig. 41), qui se trouve en équilibre parce que ses bras de levier 2 et 4 sont en raison inverse des forces agissantes 4 et 2. D'après ce que nous venons de dire, la force 4 produira absolument le même effet (c'est-à-dire qu'elle fera équilibre à la force 2), si nous l'enlevons de b et si nous la faisons

tirer vers le haut en *d*, comme le représente la fig. 42. Le bras de levier *c b*

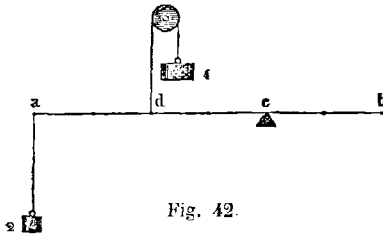


Fig. 42.

réduit de cette manière à l'inaction, nous obtenons *un levier à un seul bras, a d c*, dont le point de rotation est en *c* et que la force *4* tend à mouvoir autour de ce point vers le haut, tandis que la force *2* cherche à le mouvoir vers le bas. Mais nous venons de démontrer

que, dans les conditions données, les effets des forces devaient se neutraliser; il reste donc acquis que dans le cas de la fig. 42 comme dans le levier à un seul bras, pour établir l'équilibre, les moments statiques doivent nécessairement être égaux.

On trouve des applications de ce levier dans la presse à levier, dans la brouette, dans le couteau à hacher, le casse-noisette, etc.

50. La poulie mobile (fig. 43) peut également être considérée comme un levier à un seul bras représenté par son diamètre horizontal *b c d* (fig. 44). Le point d'appui est en *b*, tandis que *b c* est le bras de levier de

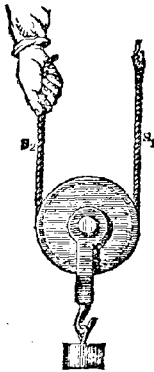


Fig. 43.

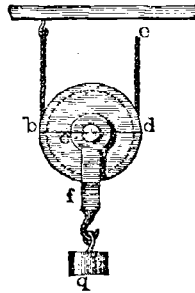


Fig. 44.

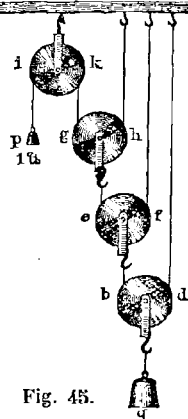


Fig. 45.

la charge *q*, qui tire en bas, et *b d* est le bras de levier de la puissance qui tire vers le haut. Comme ici les bras de levier sont dans le rapport du rayon au diamètre, par conséquent de 1 à 2, la moitié de force suffit pour faire équilibre à la charge *q*. En effet, que l'on suspende au crochet *f* un poids de 4 livres, il ne faudra en *e* qu'un poids de 2 livres pour faire équilibre aux 4 livres, et le moindre excédant en force suffira pour mettre la charge en mouvement.

En réunissant, par conséquent, plusieurs poulies mobiles, comme dans la moufle (fig. 45), elles procurent ce grand avantage qu'avec une force

minime on peut soulever une charge considérable. Que le poids q soit égal à 8 livres, l'application de 3 poulies mobiles suffira pour que le poids de une livre fasse équilibre.

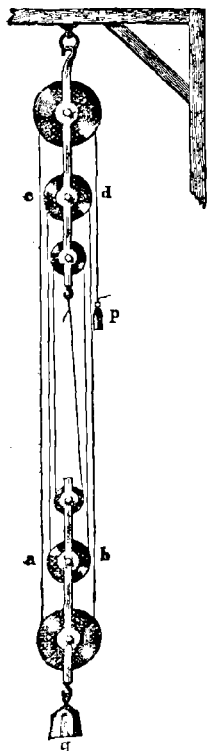


Fig. 46.

Nous avons expliqué, à propos de la fig. 44, que la force diminuait de moitié par poulie. La disposition la plus commode pour soulever des fardeaux au moyen de poulies mobiles, consiste dans la moufle ordinaire, qui se compose de 3 poulies fixes et de 3 poulies mobiles (fig. 46). La charge est évidemment portée par les 6 cordes qui réunissent ensemble les poulies supérieures et inférieures, et elle se partage, par conséquent, d'une manière égale sur les 6 cordes, de façon que chacune d'elles est tendue par $\frac{1}{6}$ de la charge q . Si q , par exemple, était = 60 livres, chacune des 6 cordes serait tendue comme si elle avait à elle seule à porter 10 livres. Mais si d'un côté de la poulie supérieure la corde c a subit une tension de 10 livres, il faut, pour établir l'équilibre, que la corde opposée d ait la même tension, ce qui a lieu si en p on adapte un poids de 10 livres. Avec cette disposition, une charge q est tenue en équilibre par $\frac{1}{6}$ de son poids agissant en p .

On devrait, d'après cela, croire qu'en employant un grand nombre de poulies on pourrait avec facilité soulever des fardeaux immenses. Mais alors elles n'offriraient plus les avantages désirés, d'un côté, parce que chaque nouvelle poulie raccourcit le chemin que la charge parcourt, et que, d'un autre côté, le frottement, qui, comme nous allons

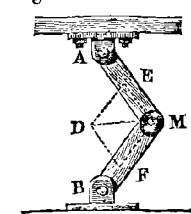


Fig. 47.

Il est à remarquer encore que le mode d'action des poulies peut aussi se déduire des lois sur le parallélogramme des forces.

51. Nous avons dit, à la fin du § 44, qu'en mécanique on tirait parti de la décomposition des forces; nous choisirons pour exemple le levier coudé (fig. 47), et nous expliquerons son action à l'aide du parallélogramme des forces. Le levier coudé consiste en deux barres métalliques réunies par une charnière M . La barre supérieure est fixée à un point résistant par

le coude A , tandis que l'inférieur s'appuie sur un plateau qui peut céder à une pression. Si au point M agit une force MD , qui tend à placer les barres MA et MB en une ligne droite, son action se décompose en deux forces composantes ME et MF qui résultent de la construction du parallélogramme MFE , dont MD est la diagonale. L'effet de la force ME , dirigée en haut, est arrêté par la résistance fixe, tandis que la force composante MF , qui agit vers le bas, exerce en B une pression sur le plateau sous-jacent. Par cette disposition on gagne en force, puisque MF peut évidemment devenir beaucoup plus grand que MD ; MF augmente même, d'autant plus que l'angle en M devient plus obtus. Le levier coudé est employé avec grand avantage pour les presses d'imprimerie et pour les machines à estamper, où il s'agit d'exercer à de courtes distances une pression momentanée, mais excessivement forte.

52. *Le plan incliné* offre un autre exemple de la décomposition d'une force en deux forces composantes. Mais, avant de l'expliquer, quelques observations préalables seront utiles. D'après le § 17, la pression exercée par un corps, en vertu de sa pesanteur, sur une surface horizontale, s'appelle le poids de ce corps. Lorsque, dans ce cas, nous déplaçons ce corps, nous n'avons nullement à vaincre son poids, puisque celui-ci est supporté par la surface horizontale, mais seulement le frottement du corps sur la surface. Ce frottement est d'autant plus insignifiant, que les deux surfaces sont plus lisses. Dans les considérations qui vont suivre, nous ferons cependant abstraction du frottement et le considérerons comme nul, ce qu'on ne peut à la vérité jamais obtenir en réalité. Dans ce cas, une très-petite force doit déjà suffire pour déplacer un corps dont le poids est soutenu par son support.

Supposons que le petit poids G (fig. 48), suffise pour faire glisser le

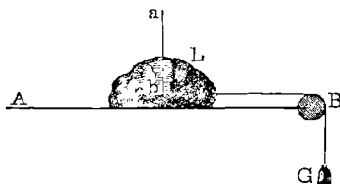


Fig. 48.

corps L sur la surface plane AB , et que la ligne ab représente la force de la pression que AB subit par L . Si nous donnons à la surface position inclinée (fig. 49), G ne suffira nullement pour faire glisser L dans la direction AB ; ce dernier glissera plutôt dans la direction opposée vers A , comme si en K une force le tirait en direction parallèle avec la sur-

face. Il s'ensuit que la surface ne supporte plus le poids total du corps, que, par conséquent, la pression qu'elle subit ne peut plus être représentée par la ligne ab (fig. 48), mais par une plus petite.

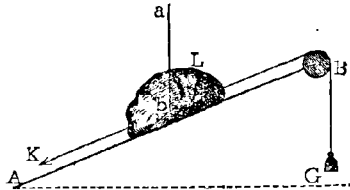


Fig. 49.

La force ab par laquelle le corps L pressait sur la surface horizontale (fig. 48) est décomposée, dans le plan incliné AB (fig. 50), en deux forces, savoir : la force ac , qui agit en pressant verticalement sur AB ,

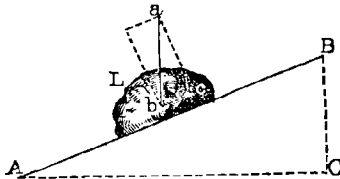


Fig. 50.

et la force cb , qui est dirigée vers le bas, parallèlement avec AB .

Si nous appelons AB la longueur et BC la hauteur du plan incliné AB , nous pouvons, d'après les lois de la géométrie, démontrer, par la similitude des triangles abc et ABC , que la force bc , qui tire en bas, est au poids ab du corps L ce que la hauteur BC du plan incliné est à sa longueur AB . Lorsque, par conséquent, la hauteur BC est la quatrième, la cinquième ou la sixième partie de la longueur AB , la force bc sera égale au quart, au cinquième ou au sixième du poids du corps.

53. En ce qui concerne l'application du plan incliné, il est généralement employé pour faciliter le transport de fardeaux à une certaine hauteur, ainsi dans le passage de montagnes, dans les constructions, etc., et l'avantage qu'il procure sous ce rapport est d'autant plus grand que la hauteur BC est plus petite relativement à la longueur AC , ou, comme on dit vulgairement, que la pente est moins forte. Cette pente devrait, pour les routes ordinaires, ne pas dépasser 5 pour cent, et pour les chemins de fer $\frac{1}{2}$ pour cent. La position particulière des pieds sur des pentes très-inclinées, soit en montant, soit en descendant, rend les mouvements du corps fort incommodés ou même impossibles. C'est pourquoi nous trouvons dans les marches d'escalier le mouvement oblique décomposé en élévations verticales et en pas horizontaux.

Les phénomènes de mouvement sur le plan incliné peuvent très-bien se démontrer par quelques appareils dont nous communiquons le dessin. Ainsi notre main sentira aussitôt, à la force inégale qu'elle devra déployer,

si (fig. 51) nous faisons mouvoir la charge L sur la surface horizontale $A B$, ou sur le plan incliné $A C$, ou sur le plan vertical $A D$. On peut, au

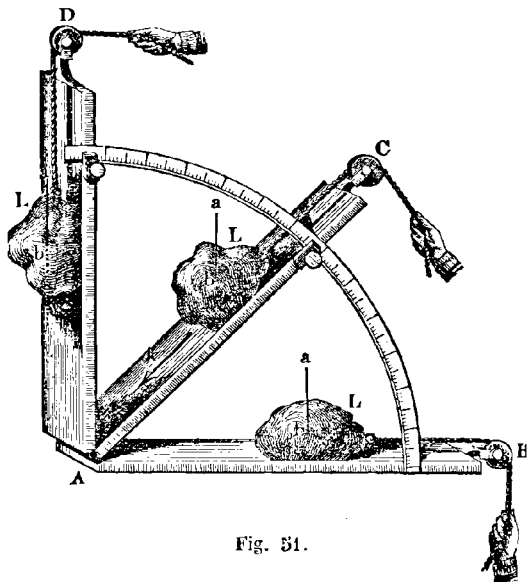


Fig. 51.

moyen du plan incliné $R S$ (fig. 52), établir des expériences encore plus exactes. Pour faire équilibre à la charge a , consistant en un cylindre de

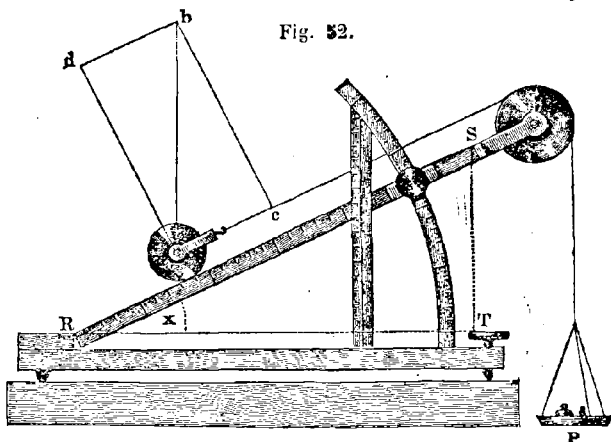


Fig. 52.

cuivre poli, nous devons mettre d'autant plus de poids dans le plateau P ,

que la hauteur TS est plus grande relativement à la longueur RS . Dans les deux appareils on peut, au moyen d'une vis de pression, donner au plan incliné la pente voulue.

Le plan incliné trouve en outre son application dans une foule de nos instruments et de nos outils. C'est ainsi que les tranchants des couteaux, des ciseaux et des haches, sont formés par deux plans inclinés se réunissant en arête, comme cela a également lieu pour le *coin*, cet instrument si simple et qui rend de si bons services pour fendre le bois, pour joindre les pièces d'un assemblage, pour serrer les voûtes, pour soulever des charges, etc. Ainsi que le fait voir la fig. 53, on peut, avec le petit

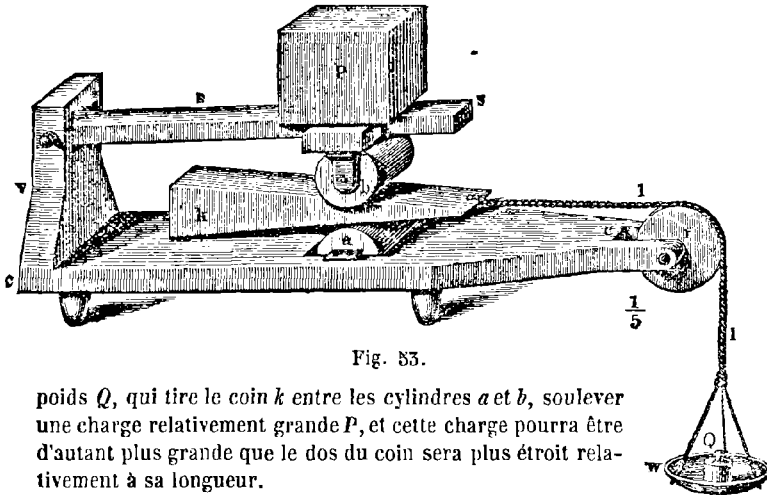


Fig. 53.

pois Q , qui tire le coin k entre les cylindres a et b , soulever une charge relativement grande P , et cette charge pourra être d'autant plus grande que le dos du coin sera plus étroit relativement à sa longueur.

54. La vis. Que l'on coupe en papier un triangle rectangle scalène

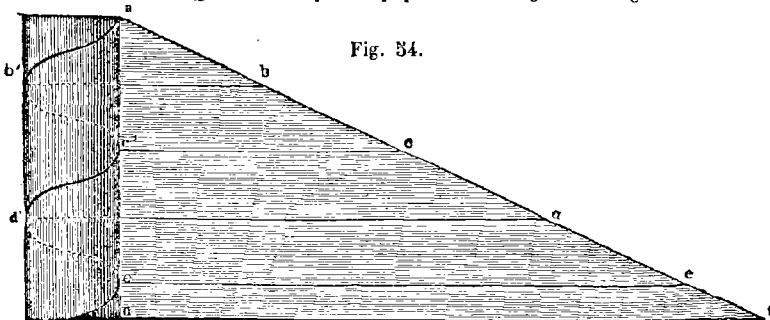


Fig. 54.

$a o f$ (fig. 54), et qu'on marque le plus long côté $a f$ d'un gros trait noir ;

qu'on colle ensuite le côté court ao contre un cylindre; puis qu'on tourne le triangle autour du cylindre, le trait noir af formera sur le cylindre une hélice ou le filet de la vis. Si $c c'$ est égal à la circonférence du cylindre, la ligne ac formera, en se contournant, un tour de vis complet, parce que le point c viendra se placer en c' perpendiculairement sous a . La hauteur de c' à a est la hauteur du pas de vis. Selon que nous nous figurons appliqué sur cette hélice un prisme triangulaire ou quadrangulaire, nous obtiendrons une vis tranchante (fig. 55) ou une vis plate (fig. 56).

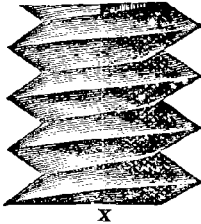


Fig. 55.

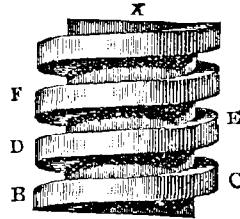


Fig. 56.

Si l'on fait des pas de vis semblables autour de la paroi interne d'un cylindre creux, on obtient l'écrou (fig. 57), qui sert à recevoir une vis qui lui correspond exactement. L'avantage que procure l'emploi des vis

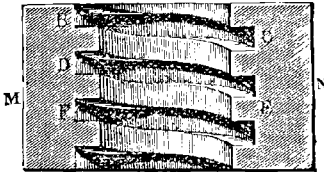


Fig. 57.

consiste, d'un côté, en ce que, par le frottement considérable auquel elles donnent lieu, elles servent à établir des adhérences solides, tandis que, d'un autre côté, comme plans inclinés glissant l'un sur l'autre, elles permettent une certaine mobilité. Cette mobilité sera d'autant plus facile que le pas de vis est moins haut. Indépendamment de la vis ordinaire, du vilebrequin, du tire-bouchon, la vis est appliquée comme presse dans la typographie, dans les bateaux à hélice, comme vis d'Archimède, comme vis micrométrique, etc.

b) DU MOUVEMENT.

55. Un corps est en *mouvement* lorsqu'il occupe successivement différents endroits de l'espace. Il doit alors constamment changer de place par rapport aux corps environnants, et c'est à cela que nous reconnaissons d'une manière générale le mouvement. L'aiguille de la montre avance de chiffre en chiffre, le bateau longe la vallée et la colline, le convoi de chemin de fer roule à travers les villes et les campagnes :

ces objets sont en mouvement, car nous remarquons qu'ils s'éloignent des objets voisins et se rapprochent des objets éloignés.

La fixité *immuable*, par contre, est représentée par une grande montagne, par un bâtiment massif, par un arbre aux racines solides. Cet état de persistance d'un corps et de ses parties à une distance constamment égale des objets avoisinants se nomme le *repos*.

L'idée de mouvement implique nécessairement qu'il y a d'autres objets qui paraissent rester immobiles à leur place. Car si tous les objets avaient un mouvement uniforme, tout nous paraîtrait en repos; les positions relatives ne seraient pas changées, ainsi que cela se présente à l'aspect du ciel étoilé, des montagnes, des forêts et des villes sur la surface de la terre. Cependant, l'observation plus exacte nous apprend que tous les corps célestes, même les étoiles fixes, que leur distance immense fait paraître *immobiles*, sont constamment *en mouvement*; et nous pouvons même admettre comme certain qu'il n'y a pas la plus petite particule de l'univers qui reste toujours dans un repos complet. Nous savons que dans la rotation journalière de la terre, les montagnes, les forêts et les villes participent au mouvement.

Il n'y a donc pas de *repos absolu*, mais seulement un *repos relatif*. Placé sur un bateau, mon corps peut se trouver en repos par rapport aux objets qui m'entourent : le mât, la table, le banc; mais un regard jeté sur le rivage où les objets disparaissent, me démontre que le bateau, avec tout ce qu'il contient, se meut rapidement.

56. Une des premières et des plus importantes lois des phénomènes du mouvement est la suivante :

1° *Un corps qui se trouve en repos ne peut pas de lui-même se mettre en mouvement.*

2° *Un corps qui se trouve en mouvement ne peut pas de lui-même modifier ou suspendre cet état de mouvement.*

Ces deux principes sont l'expression plus exacte d'une propriété de la matière dont nous avons parlé au § 10, savoir de *l'inertie*.

Quand nous mettons un corps en mouvement, il devrait, d'après le *second principe*, continuer sans altération, jusqu'à l'infini, le mouvement qui lui a été communiqué. Cela a effectivement lieu pour les corps célestes. Mais, dans le domaine terrestre, il nous est impossible de communiquer à un corps un mouvement éternel. Que l'on tire une balle en l'air, même avec la plus forte charge, ou qu'on la fasse glisser sur une plaine de glace polie comme un miroir, son mouvement deviendra insensiblement plus lent et finira par cesser. Dans les deux cas, la balle ne se met pas d'elle-même en repos; mais d'autres forces, telles que la résistance de l'air et l'attraction de la terre, mettent fin au mouvement.

57. En poursuivant l'examen du mouvement, nous remarquons d'abord son rapport avec l'espace et avec le temps, c'est-à-dire sa direction et sa vitesse.

La distance du point où le mouvement du corps commence jusqu'à celui où il cesse, se nomme le chemin ou la trajectoire, et la ligne qui désigne cette route, se nomme *direction*. Celle-ci est, soit constamment invariable ou *rectiligne*, soit variable ou *curviligne*. Le mouvement circulaire d'un corps qui tourne sur lui-même se nomme *mouvement de rotation*.

58. L'espace parcouru dans une unité de temps se nomme la *vitesse* du mouvement.

Il y a des degrés de vitesse extraordinairement divers. Ainsi, par exemple, la grande aiguille d'une montre parcourt en une heure la même route que la petite aiguille met 12 heures à parcourir. Le limaçon parcourt en une seconde une ligne, un coureur 25 pieds, un convoi de vitesse 44 pieds, un cheval de course 50 pieds, l'ouragan 124 pieds, le son 1,050 pieds, un boulet de 24 2,400 pieds, et la lumière même 78,000 lieues de 4,000 mètres.

59. Un examen ultérieur du mouvement nous montre que la vitesse est ou *uniforme*, ou *variée*.

Dans la vitesse *uniforme*, les chemins égaux sont parcourus dans des temps égaux, quelque petits qu'ils soient. Lorsque, par conséquent, un corps parcourt une lieue en une heure, il doit parcourir en une minute $\frac{1}{60}$ de la lieue, et en une seconde $\frac{1}{3600}$.

Le mouvement *uniforme* réclame que le corps mis en mouvement se trouve sous l'influence d'une force agissant d'une manière continue et neutralisant exactement les obstacles qui s'opposent au mouvement, de telle sorte que la vitesse primitive persiste.

La vitesse est *variée* lorsque, pour un corps en mouvement, elle augmente ou diminue pour chaque division successive de temps; elle se nomme *vitesse croissante* ou *accélérée* dans le premier cas, *décroissante* ou *retardée* dans le second.

La vitesse uniformément accélérée se produit lorsqu'une force invariable continue d'agir dans la même direction, sur un corps en mouvement, comme sur un corps qui tombe. Dans la vitesse retardée, il y a une force qui agit en sens opposé sur le corps en mouvement, par exemple, la pesanteur sur une pierre qu'on jette en l'air.

60. La chute des corps. D'après le principe de l'inertie énoncé plus haut, un corps auquel on a communiqué un mouvement ne peut pas se mettre en repos de lui-même : ce mouvement doit même conserver invariablement sa direction et sa vitesse, tant qu'une cause ne vient pas le troubler ou le suspendre. Dans cette supposition, un corps auquel j'aurais,

par un choc, communiqué une certaine vitesse, par exemple, de 30 pieds à la seconde, devrait donc conserver invariablement cette vitesse pour toutes les secondes suivantes, de manière à parcourir dans chacune un espace de 30 pieds. Mais si, au commencement de la deuxième seconde, je communique de nouveau au corps une impulsion de même force, il est évident qu'il devra avoir maintenant une vitesse double, et si je lui donne à chaque seconde suivante une impulsion de même force, il devra posséder dans la troisième, quatrième, cinquième seconde, une vitesse triple, quadruple, quintuple; sa vitesse sera *uniformément accélérée*. Mais on peut aussi se figurer que ces impulsions se succèdent beaucoup plus rapidement, qu'elles sont communiquées à des intervalles de temps infiniment petits. C'est ce qui a lieu dans la chute des corps, et c'est la pesanteur qui constitue cette force qui agit d'une manière accélératrice dans chaque élément de temps.

Par des expériences exactes on a trouvé qu'un corps qui ne tombe que pendant une seconde parcourt un espace de 15 pieds de Paris = 4,9 mètres, et qu'à la fin de cette seconde, il a acquis une vitesse de 30 pieds. Mais comme, pendant la deuxième seconde, la pesanteur agit sur le corps de la même manière que pendant la première, sa vitesse augmentera dans le même rapport que le temps de la chute. On aura donc :

A la fin de la	1 ^{re}	2 ^{me}	3 ^{me}	4 ^{me}	5 ^{me}	n ^{me}	seconde,
une vitesse =	30	60	90	120	150	n30	pieds.

Recherchons maintenant l'espace parcouru par un corps qui tombe, pendant un temps déterminé, avec cette vitesse constamment accélérée.

Au bout de la première seconde, il aura parcouru 15 pieds, et il aura, en outre, acquis une vitesse finale de 30 pieds qui agit de la même manière que si, au commencement de la deuxième seconde, l'on avait imprimé au corps une impulsion qui accélérât la vitesse de sa chute et la poussât à 30 pieds. Mais, tout à fait indépendamment de cela, agit encore la pesanteur, en vertu de laquelle le corps doit parcourir 15 pieds, comme dans la première seconde. Si j'arrêtais momentanément sa chute au bout de la première seconde, et si je suspendais par conséquent la vitesse de 30 pieds qu'il a acquise, il devrait, lorsque je l'abandonne, ne parcourir que 15 pieds dans la deuxième seconde; mais si je ne l'arrête pas, il parcourra évidemment $15 + 30 = 45$ pieds dans la deuxième seconde. Si j'ajoute à cela l'espace de 15 pieds parcouru pendant la première seconde, je trouve qu'un corps qui est tombé pendant deux secondes a parcouru un espace de $15 + 15 + 30 = 60$ pieds.

En répétant ces recherches, on trouve pour chaque nombre suivant de secondes l'espace parcouru, quand on additionne : 1° l'espace parcouru

par un corps pendant chaque seconde, 2^o la vitesse finale de la seconde précédente, 3^o l'espace déjà parcouru, par exemple :

Temps de la chute.....	=	1	2	3	4	5, etc., secondes.
1 ^o Espace pour chaque seconde	=	15	15	15	15	15
2 ^o Vitesse finale acquise.....	=	0	30	60	90	120
3 ^o Espace déjà parcouru.....	=	0	15	60	135	240
Espaces parcourus.....	=	15	60	135	240	375 etc.

En comparant entre elles les sommes obtenues, nous trouvons aussitôt qu'elles sont dans le rapport des chiffres 1 : 4 : 9 : 16 : 25, ou comme 1 : 2² : 3² : 4² : 5², et il en résulte la loi suivante pour la chute des corps : *les espaces parcourus sont entre eux comme les carrés des temps employés par les corps à les parcourir.*

L'exactitude de cette loi peut être constatée au moyen du plan incliné de Galilée et de la machine d'Atwood. La fig. 58 nous montre le rapport des espaces parcourus pour 4 secondes.

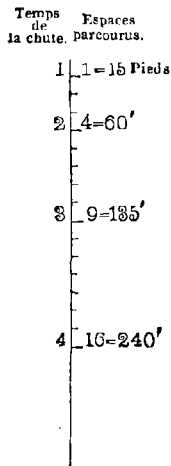


Fig. 58.

61. Vitesse moyenne. Un corps qui tombe pendant une seconde parcourt un espace de 15 pieds ; sa vitesse, qui était de 0 au commencement de la seconde, augmente à chaque partie de la seconde et est à la fin égale à 30. Ce corps aurait parcouru exactement le même espace si, au commencement de la seconde, il avait eu une vitesse de 15 pieds et l'avait conservée uniforme pendant une seconde. Une vitesse uniforme pareille qui produit en un temps donné le même effet qu'une vitesse accélérée, se nomme la *vitesse moyenne*, c'est celle qu'un corps a acquise pendant la moitié du temps. La vitesse moyenne est égale à la moitié de sa vitesse finale, $\frac{30}{2} = 15$.

Nous avons vu tout à l'heure que le corps tombant avec une vitesse accélérée parcourait en 4 secondes 240 pieds, ensuite que sa vitesse à la moitié de ce temps, c'est-à-dire à la fin de la deuxième seconde, était de 60 pieds ; s'il avait eu dès le commencement cette vitesse moyenne, il aurait parcouru pendant 4 secondes $4 \times 60 = 240$ pieds.

62. Le pendule. Un corps pesant, par exemple, une balle ou un disque métallique suspendu à un fil, représente un pendule.

Quand on écarte le pendule de sa position verticale ou d'équilibre,

$f c$ (fig. 59), de sorte que la balle arrive en b , et qu'on l'abandonne à elle-même, elle tombera vers le point c et remontera ensuite du côté opposé

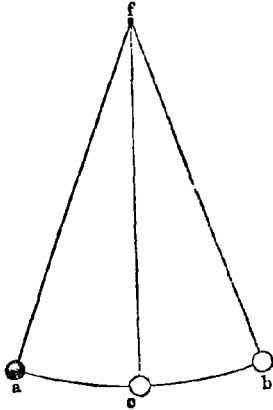


Fig. 59.

jusqu'à a , qui est un tant soit peu plus bas que b . Arrivé en a , la boule retombe et remonte de l'autre côté, sans cependant atteindre bien exactement la hauteur de b , et, de cette manière, les mouvements qu'on nomme oscillations du pendule continuent, chaque oscillation suivante devenant insensiblement plus petite que la précédente, jusqu'à ce qu'enfin le pendule s'arrête. Un examen plus attentif démontre que les oscillations du pendule sont des mouvements de chute dépendants de la pesanteur, mais légèrement modifiés. Attiré d'un côté par la terre en b , il est, d'un autre côté, tenu par le fil à une distance invariable de son point de suspension,

et il résulte de ces deux forces un chemin circulaire dans lequel le pendule tombe avec la vitesse accélérée de la loi sur la chute des corps (§ 60) vers le point le plus déclive c . Dans la position $f c$, qui correspond à la direction de la pesanteur, le pendule resterait en repos, s'il n'avait pas reçu une certaine vitesse par sa chute de b en c . Il remonte alors, avec une vitesse qui diminue constamment sous l'influence de la pesanteur, de l'autre côté, jusqu'à ce que la vitesse soit vaincue, et ensuite le pendule retombe de nouveau de a . De cette manière, ses oscillations se continueraient éternellement, si le frottement du point de suspension et la résistance de l'air n'agissaient en sens opposé et ne finissaient par établir le repos.

On a trouvé, sur les oscillations du pendule, certaines lois dont les plus essentielles sont les suivantes :

1. Les différentes oscillations d'un même pendule sont *isochrones*, c'est-à-dire d'égale durée, que l'amplitude soit plus grande ou plus petite, en supposant toutefois que l'arc $a b$ ne dépasse pas 5 degrés.

2. Deux pendules de même longueur font, dans un même espace de temps, un nombre égal d'oscillations.

3. Deux pendules de longueur inégale font, dans un même espace de temps, un nombre inégal d'oscillations ; le plus long en fera moins que le plus court.

4. Un même pendule fait, partout où la pesanteur agit de la même manière et avec la même force, le même nombre d'oscillations dans un temps donné. Si le même pendule qui fait sur la terre un certain nombre d'oscillations dans un temps déterminé, pouvait être transporté sur la lune

ou sur le soleil, et que nous pussions l'y observer, il ferait, sur la première, moins d'oscillations, et, sur le second, un nombre considérablement plus grand, puisque la lune exerce une attraction 50 fois plus petite, tandis que le soleil exerce une attraction quatre cent mille fois plus grande que la terre.

63. Le pendule offre certaines applications qui donnent à cet instrument si simple une grande importance. Le pendule sert d'abord pour régulariser dans les horloges le mouvement inégal provoqué soit par un poids, soit par un ressort; il sert ensuite à nous donner une mesure de longueur d'une grandeur certaine et invariable.

64. On nomme pendule à secondes celui qui exécute exactement en une minute 60 oscillations, de telle sorte que chaque oscillation a la durée d'une seconde. D'après ce que nous avons dit, on comprend que le pendule à secondes doit avoir une longueur parfaitement déterminée. Car s'il était plus court, il ferait plus de 60 oscillations à la minute; s'il était plus long, il en ferait moins.

C'est pourquoi le pendule à secondes d'un endroit peut être utilisé comme une mesure de longueur certaine et invariable. A Paris, il a une longueur exacte de 993,866 millimètres. En Angleterre, on a fixé d'une manière invariable les mesures de longueur en déterminant combien le pied anglais devait contenir de parties du pendule à secondes de Londres.

65. Grand fut, par contre, l'étonnement des physiciens, lorsqu'on eut fait l'observation que le même pendule à secondes ne faisait pas, sur tous les points de la surface terrestre, le même nombre d'oscillations. Lorsqu'on transporte, par exemple, le pendule de Paris, long de 993 millimètres, vers l'équateur, il fait moins d'oscillations; si on le transporte au pôle nord, il fait au delà de 60 oscillations par minute.

Mais comme les mouvements du pendule dépendent de la pesanteur, et que celle-ci diminue (§ 15) d'autant plus qu'on s'éloigne du point central de la terre, on conclut des observations du pendule qu'un point près de l'équateur est plus éloigné du centre de la terre qu'un point près

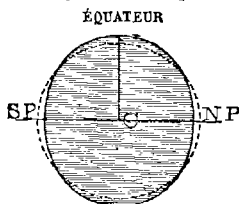


Fig. 60.

des pôles. La terre ne peut donc plus être une sphère parfaite, mais elle est, comme fig. 60, un peu aplatie vers les pôles. Le diamètre de la terre à l'équateur est de 2869,6 lieues, tandis que de pôle à pôle elle n'est que de 2860,2 lieues de 4,000 mètres.

La force centrifuge que la terre possède par sa rotation concourt aussi à ralentir les oscillations du pendule à l'équateur.

66. Les mouvements curvilignes résultent du concours particulier de plusieurs forces sur un corps. C'est ainsi, par exemple, que lorsqu'on a imprimé à un corps une certaine vitesse dans la direction horizontale,

il y a simultanément une force qui le pousse dans la direction horizontale et la pesanteur qui l'attire vers la terre. Il en résulte que la ligne qu'il parcourt est *courbe* et dévie plus ou moins de la ligne horizontale, selon les rapports qui existent entre les deux forces.

Il est reconnu que le tireur qui vise à une grande distance dirige son coup un peu au-dessus du but, à cause de l'abaissement que la balle subit en vertu de sa pesanteur.

67. Si l'on donnait une impulsion à une balle m attachée à l'extrémité d'un fil (fig. 61), elle irait en ligne horizontale si elle n'était fixée par le fil et attirée vers le point c . Il y a ici encore un mouvement composé, c'est-à-dire un mouvement *circulaire*.

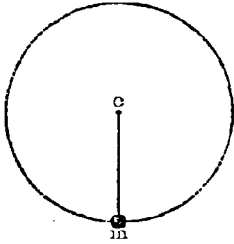


Fig. 61.

Il est évident que si, au lieu du fil, il existait une force quelconque qui attirerait constamment m vers c , il y aurait un mouvement circulaire semblable.

Si nous nommons la force qui attire constamment vers le centre c la force *centripète*, et la seconde force dirigée perpendiculairement sur celle-ci la force *tangentielle*, il est naturel que le chemin que le corps parcourra sous l'influence de ces deux forces dépendra de leur rapport mutuel. Dans le mouvement *circulaire*, il existe le rapport suivant : la vitesse tangentielle, multipliée par elle-même, doit être égale au diamètre du cercle, multiplié par la vitesse centripète. Si le premier produit était plus grand que le second, la ligne qui en résulterait ne serait pas un cercle, mais une *ellipse*; si le premier était exactement le double du second, il en résulterait une *parabole*, et si le premier était encore plus grand, on obtiendrait une *hyperbole*, toutes lignes courbes que nous décrirons plus amplement à une autre occasion.

Les orbites des corps célestes nous offrent les exemples les plus grandioses de mouvements semblables. C'est ainsi que sur la lune agissent à chaque instant simultanément deux forces, savoir l'attraction de la terre et une autre force agissant à angle droit sur la première, qui la chasse en une minute à environ 200,000 pieds. Si, pendant le même espace de temps, l'attraction de la terre agissait seule, la lune tomberait de quinze pieds en direction verticale vers la terre. Par contre, des deux forces résulte son orbite elliptique.

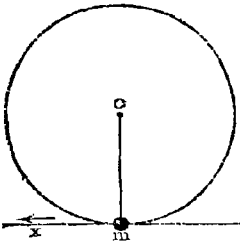


Fig. 62.

68. Force centrifuge. Lorsqu'on donne à la petite balle attachée à un fil m (fig. 62), une impulsion propre à lui faire faire des mouvements

circulaires autour du centre c , et qu'à un instant donné on coupe le fil, la balle s'éloigne du centre du mouvement circulaire. La direction que prendra la ligne est désignée par une ligne perpendiculaire au fil, au moment où il a été coupé. Si la boule se trouvait, par exemple, au moment où elle est devenue libre, juste au point m , elle s'envolerait dans la direction $m x$.

La vitesse avec laquelle la boule s'échappe est d'autant plus grande que l'était la vitesse avec laquelle elle tournait autour du centre.

Les enfants se servent quelquefois d'un procédé semblable pour lancer bien haut dans l'air leurs balles tenues par un bout de corde.

Ce phénomène prend une extension encore plus grande, lorsque nous considérons d'une manière générale les corps qui tournent sur eux-mêmes. Dans ce cas, toutes les parties d'un tel corps qui ne sont pas situées dans son axe de rotation décrivent des cercles autour de lui et acquièrent une tendance à s'éloigner de cet axe. Cette tendance se nomme la *force centrifuge*. Comme, dans une rotation pareille, toutes les particules parcourent simultanément leur cercle autour de l'axe, celles qui en sont plus éloignées doivent avoir une vitesse plus grande et, par conséquent, aussi une force centrifuge plus considérable que celles qui sont plus rapprochées de l'axe.

La terre est un corps de cette nature ; elle tourne autour d'un axe dont les extrémités sont les pôles. De ce qui précède, il résulte que les parties du globe terrestre qui sont situées à l'équateur doivent avoir une force centrifuge très-grande, tandis que cette force est moindre pour les parties plus rapprochées des pôles.

L'effet de la force centrifuge ne peut se manifester que lorsqu'elle est plus grande que la cohésion du corps en rotation, ainsi surtout chez les corps dont la masse est molle ou qui possèdent des parties susceptibles

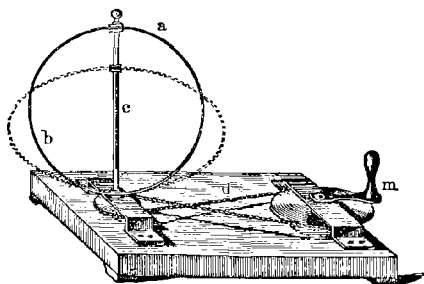


Fig. 63.

de glissement. A l'aide de la machine centrifuge (fig. 65), on peut établir une série de belles expériences qui démontrent ce que nous venons de dire ; on peut surtout faire voir, par un cercle élastique en laiton $a b$, la cause de l'aplatissement de la terre. La force centrifuge trouve en mécanique et dans l'industrie de nombreuses applica-

tions, comme, par exemple, dans le régulateur à force centrifuge des machines à vapeur et dans la machine à purifier le sucre brut. Ce dernier consiste en petits cristaux qui sont colorés en brun par du sirop qui y

adhère. On met la masse humide dans des réservoirs en forme de tambour et munis de parois criblées de petits trous, qu'on fait tourner avec une excessive rapidité autour de leurs axes. La plus grande partie du sirop s'échappe par l'effet de la force centrifuge qu'il a acquise.

69. Du choc. Lorsqu'un corps en mouvement rencontre un autre corps, il se produit un *choc*. Il peut alors se manifester des phénomènes divers selon la nature, la grandeur, la direction et la vitesse des corps employés. Il est à remarquer, en thèse générale, que lorsqu'il se produit un choc, les corps mous non élastiques subissent un aplatissement persistant, qui, pour les corps élastiques, n'est que momentané; ensuite, qu'un choc ne produit son effet total que lorsqu'il est dirigé vers le centre, c'est-à-dire vers le centre de gravité du corps touché.

La manière dont se comportent les corps dans le choc se démontre très-bien par des billes d'ivoire suspendues à des cordes et qui donnent le résultat suivant :

Lorsqu'un corps en mouvement heurte un corps de masse égale, le mouvement du premier cesse complètement, tandis que le second se met en mouvement avec une vitesse égale à celle que possédait le premier corps. Si la masse du corps en repos était plus grande que celle du corps qui donne le choc, la vitesse communiquée sera moindre que celle du corps mis en mouvement, et vice versa, et cela en raison de la différence des masses. On peut, par conséquent, avec une grande masse ayant une petite vitesse, communiquer à une petite masse une grande vitesse, et, par contre, une très-petite boule, qui choque avec une vitesse extraordinaire une grande boule, ne communique à celle-ci qu'un mouvement relativement lent.

Les grêlons, le petit plomb sont de ces petites masses qui ne doivent leurs effets destructifs qu'à leur vitesse.

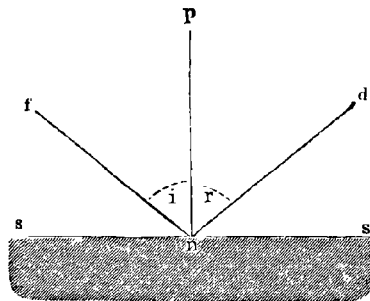


Fig. 64.

Lorsqu'un corps tombe perpendiculairement sur un plan $s s'$ (fig. 64),

il rebondit, par suite de leur élasticité respective, dans la même direction ; mais si le choc a lieu sous un angle aigu $d n$, le corps sera rejeté sous un angle semblable dans la direction $n f$. Ce fait se démontre facilement à l'aide du petit appareil (fig. 65). L'application pratique en a souvent lieu au jeu de billard et dans le tir à ricochet de l'artillerie.

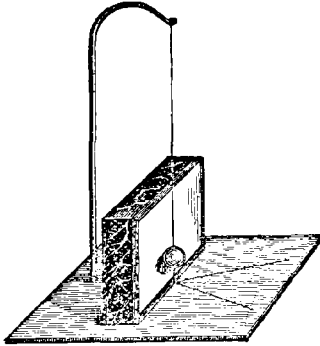


Fig. 65.

tandis qu'une balle de carabine n'y ferait qu'un petit trou rond, parce que, dans ce dernier cas, les particules de verre qui ont reçu directement le choc, ont été rapidement séparées des autres, de sorte qu'elles n'ont pas eu le temps de leur communiquer le choc.

C'est en partie pour cette raison, et en partie à cause de l'inertie, que nous pouvons attacher un marteau à son manche en frappant l'extrémité de celui-ci sur le sol, et qu'on exécute ce tour connu qui consiste à mettre sur une carte, posée sur une bouteille, une pièce de monnaie, de manière qu'elle se trouve juste au-dessus du goulot, puis à faire tomber la monnaie dans la bouteille, en faisant sauter rapidement la carte (fig. 66).

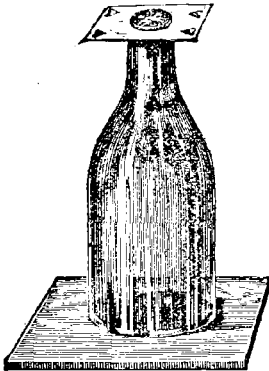


Fig 66.

71 Le frottement. Un obstacle essentiel du mouvement, c'est le frottement. Il provient de ce qu'il n'y a aucun corps dont la superficie soit parfaitement plane. Que l'on examine les corps les plus lisses, par exemple, de l'acier poli, sous une forte loupe, on verra que sa superficie n'est composée que d'éminences et d'excavations.

Lorsque, par conséquent, on fait glisser un corps sur un autre, les petites éminences de l'un doivent être levées sur celles de l'autre, comme

on le voit fig. 67. Plus ces éminences sont basses, en d'autres termes, plus le corps est lisse, moins le frottement sera fort. Pour les liquides,

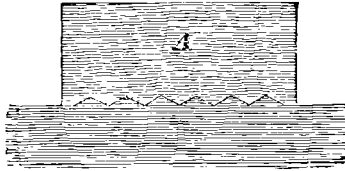


Fig. 67.

dont les particules se déplacent facilement, le frottement est proportionnellement très-faible. Lorsqu'on remplit les excavations des surfaces avec des liquides, de l'huile, de la graisse ou avec des corps en poudre très-fine, par exemple, de la mine de plomb, le frottement est considérablement diminué. C'est pourquoi

on se sert de ces corps pour graisser les essieux et d'autres parties de machines.

L'intensité du frottement dépend, en outre, du poids du corps à mouvoir. Plus ce poids est grand, plus le frottement sera grand. L'étendue des surfaces qui se frottent est sans influence, car, pour trainer, par exemple, 100 livres de fer sur une voie ferrée, il faut une force de 27,7 livres, que cette masse de fer soit en contact avec les rails sous forme d'une grande feuille ou sous celle d'un cylindre tournant autour de son axe.

La résistance résultant du frottement est donc un élément très-important dans la mécanique appliquée, et il faut toujours en tenir compte. Aussi les coefficients du frottement, c'est-à-dire les nombres qui indiquent les rapports du frottement à la pression, ont-ils été exactement déterminés. Comme il a été dit au § 52, il ne faut, pour la progression d'une charge sur une surface horizontale, que la force correspondante à la résistance que produit le frottement. Qu'une charge, par exemple, pèse 500 livres, et que son coefficient de frottement trouvé par l'expérience soit égal à $\frac{2}{5}$, il ne faudra, pour la faire progresser, que 200 livres. L'appareil représenté dans la fig. 31 sert aussi à des expériences comparatives sur le frottement de glissement. On y voit que des corps dont les surfaces sont de nature différente ne commencent à glisser, que lorsque leur base a une certaine inclinaison.

Du reste, le frottement est fréquemment d'une utilité essentielle. Lorsque nous glissons sur la glace ou sur d'autres surfaces lisses, cela provient du manque de frottement. Dans certaines circonstances un cheval tirera davantage lorsque le conducteur s'assied sur le véhicule et augmente ainsi le frottement. Dans l'emploi de la vis, du coin et des courroies de conduite, et dans tous les appareils d'arrêt, jusqu'aux freins de nos chemins de fer, c'est du frottement que nous tirons parti.

c) QUELQUES NOTIONS DE MÉCANIQUE.

72. La *mécanique* est la science des *forces* et du *mouvement*. Le mécanicien pratique a pour tâche de rechercher le moyen d'exécuter un mouvement demandé avec le moins de force possible. Il résout cette question par l'emploi de dispositions ingénieuses, qu'on nomme machines. Il ne peut entrer dans le but de ce livre de traiter à fond ce vaste sujet. Cependant, il convient que nous accordions toute l'attention possible à la machine, qui est devenue une puissance universelle.

On distingue les machines en *machines simples* et en *machines composées*. Les premières ont été en grande partie passées en revue plus haut : le levier, le plan incliné, la poulie et ses diverses modifications, et tous nos outils et ustensiles ordinaires sont des machines simples. Même l'anatomie nous apprend que la plupart des mouvements de nos membres se font d'après les lois du levier.

Du concours de plusieurs machines simples naissent les machines composées, et quelque compliquées et difficiles à comprendre qu'elles paraissent au premier abord, elles peuvent cependant toutes se ramener à ces machines simples.

73. Le *treuil*, ou le *tour* (fig. 68), consiste en un cylindre sur lequel une roue est solidement fixée, de telle sorte qu'elle est perpendiculaire à l'axe du cylindre et que son centre se trouve au centre du cylindre; aussitôt qu'on fait tourner la roue, le cylindre doit également tourner, et vice versa. A la circonférence de la roue, la force agit par une corde pour faire équilibre à la charge r située à la circonférence du cylindre. La puissance et la résistance agissent ici d'après les lois du levier développées au § 48. Comme bras de levier de la puissance, nous

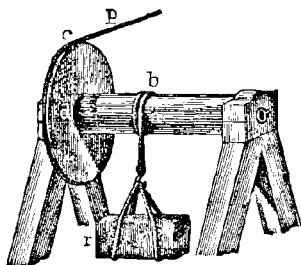


Fig. 68.

avons le rayon cd de la roue; le bras de levier de la résistance est le rayon ab du cylindre. La puissance est à la résistance en rapport inverse de ce que le rayon de la roue est au rayon du cylindre. Si, par exemple, ab n'est qu'un cinquième de cd , on peut tenir en équilibre à la corde cd , avec 100 livres, une résistance r de 500 livres.

Au lieu d'une roue on fixe souvent à l'extrémité de l'arbre ou du cylindre des bras qui se croisent et sur lesquels la force agit.

Ici le bras de levier de la puissance va, du point où la puissance agit, à l'axe de l'arbre. Lorsque la puissance agit sur un bras coudé, la dispo-

sition se nomme une *manivelle* (fig. 69). Quelquefois il se trouve à la circonférence de la roue des chevilles sur lesquelles la puissance agit.

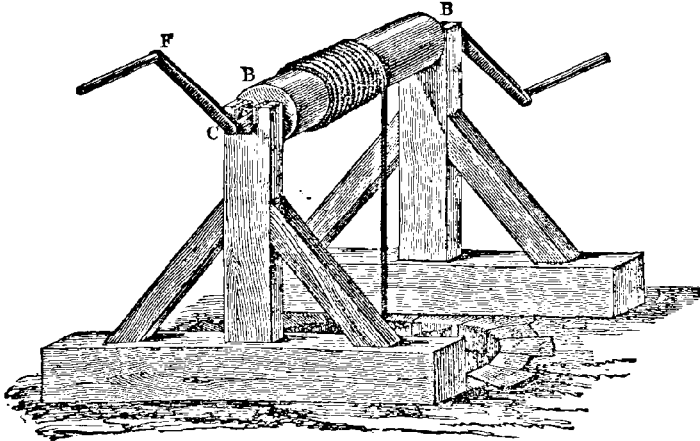


Fig. 69.

Le *cabestan* se distingue des dispositions mentionnées en ce que l'arbre est vertical (fig. 70). Il sert surtout à faire mouvoir des charges sur le sol.

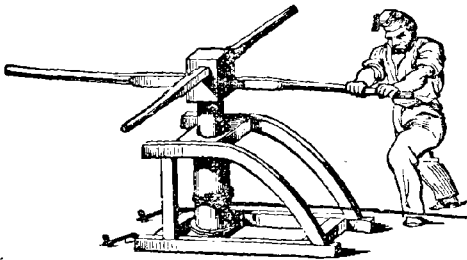


Fig. 70.

De tous les exemples rapportés ici, il résulte que la puissance peut être appliquée de la manière la plus diverse au cylindre du treuil, et nous le rencontrons aussi bien dans les diverses roues dentées d'une montre que dans les rouleaux de stores et dans la roue du moulin.

74. Propagation ou transmission du mouvement. On distingue dans la machine trois parties essentielles, savoir : 1° la puissance qui meut, le récepteur; 2° la résistance à vaincre, l'opérateur, et 3° la partie située entre les deux premières, qui transmet le mouvement, le transmetteur. Dans les machines simples, dans le pied de chèvre, par exemple, ces trois parties consistent souvent en un seul morceau et ne sont pas bien distantes l'une de l'autre.

Par contre, dans les machines composées, il faut parfois un ouvrage intermédiaire considérable pour conduire la puissance à la machine de

fabrication, par exemple, de la roue extérieure du moulin à la meule. Pour la transmission du mouvement, on se sert principalement des arbres de transmission, de la corde sans fin, des roues dentées et d'engrenages en général.

Quand nous entrons dans une fabrique de tissage mécanique ou dans une fabrique de machines, nous voyons, à droite et à gauche de l'allée de la longue salle, des rangées entières de machines en pleine activité, tandis que nous ne voyons nulle part la machine sur laquelle la puissance agit directement. Mais si nous regardons au plafond de la chambre, nous voyons étendu, sur toute sa longueur, un arbre de couche qui entre par une ouverture pratiqué dans le mur, parcourt une salle immense, et traverse même le mur opposé, pour entrer dans la place voisine, et y conduire également le mouvement. Cet arbre de transmission communique avec les différents établis, et son mouvement de rotation lui est transmis du dehors, soit par une roue hydraulique, soit par une machine à vapeur.

75. *La corde ou courroie sans fin* est employée pour transmettre le mou-

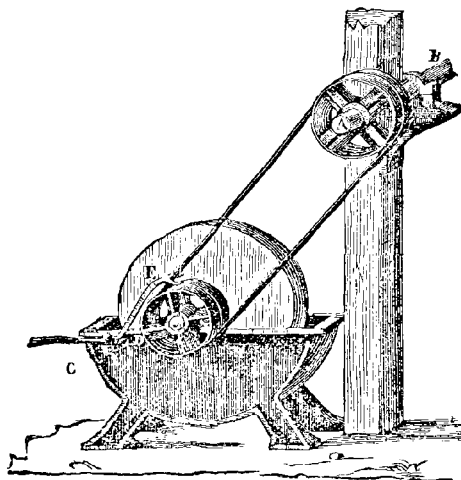


Fig. 71.

vement d'un arbre tournant à un autre parallèle avec lui, mais qui se trouve à une certaine distance. A cet effet, on a fixé à certaines places des poulies ou tambours qui tournent avec l'arbre et dans la circonférence desquelles on engage des cordes ou courroies qui reviennent sur elles-mêmes et n'ont, par conséquent, pas de fin. Une corde semblable passe dans une poulie correspondante d'un autre ouvrage et le met en mouvement. La fig. 71 nous montre un treuil *AB*, qui met en mouvement une pierre à repasser. Veut-on suspendre le travail, on place, au moyen du levier *CDE*, la courroie sur une poulie, dite frotte, qui n'est pas fixée à l'arbre de la pierre, mais qui tourne indépendamment de celui-ci, de sorte que cette poulie seule tourne et que la pierre reste en repos.

La corde sans fin peut être ouverte, comme dans la fig. 71, ou croisée, comme au rouet ordinaire ou à la machine centrifuge (fig. 63). Par rapport

à son effet, il faut observer qu'une moitié de la corde, qui se nomme le brin moteur, est plus fortement tendue que l'autre; car il ne pourrait naturellement pas y avoir de rotation si la tension était partout la même.

Lorsque les deux roues *A* et *B*, sur lesquelles la corde sans fin marche, ont des diamètres égaux, et qu'on fait tourner *A*, *B* reçoit la même vitesse de rotation que *A*. Quand, par contre, la roue *A* mise en mouvement est plus grande que la seconde *B*, cette dernière acquiert une plus grande vitesse que *A*, et cela en raison du diamètre des roues, de sorte qu'on peut ainsi obtenir des vitesses de rotation très-grandes, comme, par exemple, dans la bobine au rouet à filer, dans la machine centrifuge, etc.

Figurons-nous encore deux roues *A* et *B* réunies par une corde sans fin et à l'axe de la plus petite roue *A*, dont le diamètre est $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{n}$ de l'autre roue *B*, la puissance agit au moyen d'une manivelle, cette puissance produit le même effet que si elle agissait sur une manivelle 2, 3, 4 ou *n* fois aussi longue, appliquée directement à l'axe de la plus grande roue *B*.

76. Les roues dentées constituent en mécanique des engrenages fréquemment employés, car elles transmettent le mouvement de rotation d'un arbre à un autre arbre voisin, qui peut lui être parallèle ou former un angle avec lui. Il y a, au pourtour, alternativement des dents et des cavités qui se correspondent exactement et s'engrènent pendant la rotation, de telle sorte qu'une roue ne peut se mouvoir sans faire tourner l'autre en sens opposé.

Du reste, ce qui a été dit pour la corde sans fin s'applique également aux roues dentées. Des roues de même diamètre transmettent le mouvement sans modification

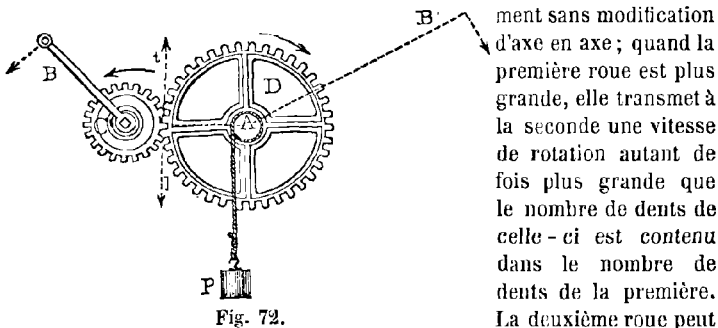


Fig. 72.

d'axe en axe; quand la première roue est plus grande, elle transmet à la seconde une vitesse de rotation autant de fois plus grande que le nombre de dents de celle-ci est contenu dans le nombre de dents de la première. La deuxième roue peut

eu faire mouvoir une troisième, celle-ci une quatrième, etc., et on peut obtenir de cette manière des rotations de toute vitesse désirée et quelquefois des vitesses extraordinaires.

Il faut encore observer ici que lorsque, à l'axe de la petite roue *C*, une force donnée agit à l'extrémité d'une manivelle *B* (fig. 72), et que le dia-

mètre de la petite roue constitue $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ de celui de la plus grande roue *D*, la force produit le même effet que si elle était appliquée directement à l'axe *A* de la plus grande roue *D* avec un bras de levier 3, 4, 5 ou *n* fois plus long (*B'*). Mais comme ces longues manivelles sont très-incommodes à manier, on se sert avantageusement de la combinaison de plusieurs roues dentées dont la plus petite, celle qui est mise directement en mouvement, s'appelle (*C*, fig. 72) le pignon.

Il est facile de comprendre que l'effet est tout à fait opposé lorsque le mouvement passe d'une roue plus grande à une roue plus petite, et que le frottement doit faire subir à l'effet des rouages un préjudice considérable.

Les roues d'angle transmettent le mouvement d'un arbre horizontal (fig. 73) à un arbre vertical, et vice versa, et quant à leurs effets, tout ce

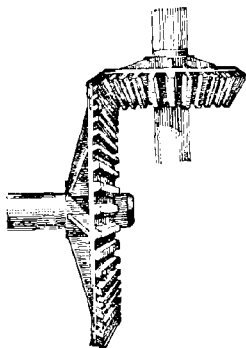


Fig. 73.

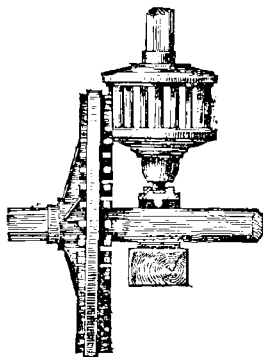


Fig. 74.

qui a été dit plus haut sur les roues dentées en général leur est également applicable. On nomme *roues de champ* la disposition établie dans le même but sur l'arbre vertical (fig. 74). La plus petite des deux roues se nomme *lanterne*.

78. Les dérangements auxquels une machine est très-communément sujette, parce que la force motrice n'est pas constamment égale dans son action, rendraient impossibles la plupart des travaux par les machines, s'il n'existait pas des moyens de régulariser les mouvements.

A cet effet, dans des ouvrages un peu grands, on adapte à l'arbre moteur une grande et lourde roue en fer de fonte (fig. 75) qui tourne avec cet arbre et qu'on nomme *volant*. Lorsqu'il survient subitement un accroissement de force, cet excès de force s'étend également à ce lourd volant, et l'effet en est rendu moins sensible pour toute la machine. Lorsque, par contre, il survient une diminution, voire même une suspension momentanée de force, la marche de la machine n'est pas instantanément

ralentie ni arrêtée, parce que, d'après les lois de l'inertie, le volant conserve au moins pendant quelque temps sa vitesse et continue à la

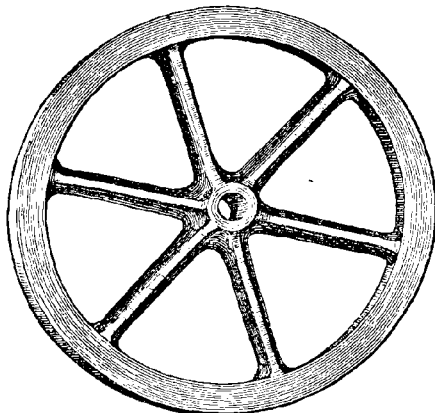


Fig. 73.

transmettre aux autres parties jusqu'à ce que la force motrice revienne à son action normale. Le volant est appliqué à la presse monétaire, à la machine à vapeur, au tour, dans la montre, et le repasseur de couteaux se rend d'autant plus indépendant de l'attention de son aide que la roue à laquelle celui-ci tourne est plus grande.

79. Parmi les innombrables machines destinées à des buts si différents, il en est deux surtout que nous croyons dignes d'une description particulière, leur destination se rapportant tellement à nos besoins les plus pressants, que l'étude de leur disposition est aussi intéressante qu'utile. C'est le moulin, qui nous livre notre pain de chaque jour, et la montre, dont la petite aiguille métallique règle et détermine toutes les affaires de ce monde.

80. Le moulin. Un grand nombre de nos moulins sont mis en mouvement par l'eau. Ou l'eau coule en dessous de la roue et choque les aubes (roue en dessous, roue à aubes), ou bien l'eau coule à mi-hauteur de la roue dans des augets situés à sa circonférence (roue de côté), ou bien enfin, l'eau coule dans un canal au-dessus de la roue pour tomber sur sa face antérieure dans des augets semblables (roue en dessus).

Dans la roue en dessous, l'eau agit par sa vitesse, tandis que dans la roue de côté, elle agit par son poids et son choc, et dans la roue en dessus principalement par son poids. C'est la masse et la hauteur de la chute d'eau dont on dispose qui déterminent l'avantage plus ou moins grand que l'une ou l'autre espèce des roues indiquées peut offrir.

Nous avons, dans la fig. 76, une roue en-dessus, qui fait tourner l'arbre A. Celui-ci s'étend dans le bâtiment du moulin et transmet, au moyen de

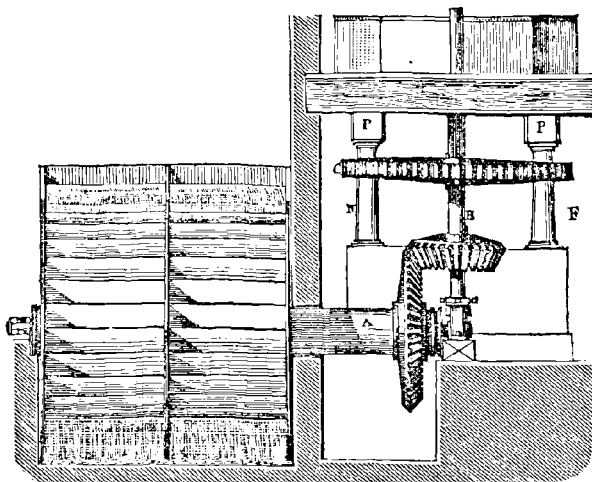


Fig. 76.

deux roues d'angle, sa rotation à l'arbre vertical B. Tandis que nous montrons ici la communication du moulin avec la force motrice, avec l'eau, la figure suivante (fig. 77) servira à démontrer ses dispositions intérieures.

La roue C a pour but de mettre en mouvement deux paires de meules, dont l'une est représentée en coupe et l'autre en profil. A cet effet, les roues dentées E et D aux arbres verticaux F et N sont disposées de manière à pouvoir être à volonté placées au-dessous de la roue C ou dans le même plan horizontal, auquel cas les moulins sont en activité. Sur notre dessin, le moulin à droite est en action, le gauche est en repos. C'est sur ce dernier que nous étudierons le mécanisme intérieur. L'arbre F repose inférieurement par un pivot dans une crapaudine; il traverse supérieurement le plancher P et la pierre de meule fixe dite *dormante*, qui repose sur ce plancher. A son extrémité supérieure conique, cet arbre porte la deuxième meule, dite la meule *courante*, qui y est fixée au moyen de l'anille et qui, par conséquent, tourne avec l'arbre. Entre les deux meules il n'y a qu'un très-petit intervalle, et on doit veiller avec soin à ce que la meule courante soit tellement équilibrée que la distance soit partout égale. L'ouverture située au milieu de la meule courante n'est pas totalement fermée par l'anille; quelques lacunes qui s'y trouvent permettent au blé de tomber entre les pierres, où il est transformé en farine et en son, par l'effet

des rotations de la meule courante. A cet effet, les surfaces de contact des meules sont sillonnées par des rainures entaillées qui, dans la rotation

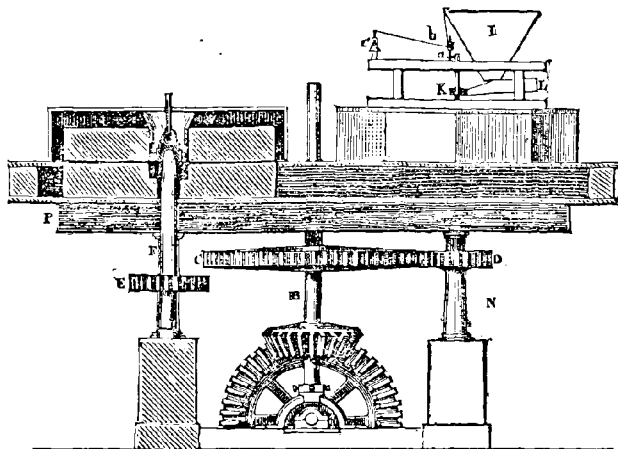


Fig. 77.

de la meule courante, agissent comme les tranchants d'une paire de ciseaux. Par le mouvement centrifuge, le blé moulu sort insensiblement d'entre les meules, se rend dans une boîte fermée tout autour (archure) et de là, par une ouverture, dans les blutoirs. Cet appareil, destiné à séparer la farine du son, n'a pas été représenté ici, pour ne pas compliquer le dessin. Il est mis en mouvement par un prolongement de l'arbre B.

Le blé à moudre est versé dans un coffre en forme d'entonnoir (la trémie) I, dont l'ouverture inférieure est presque fermée par un auget L placé obliquement. Sur un prolongement de l'arbre qui porte la meule courante se trouve un agitateur vertical K, qui donne, en tournant, de petits chocs répétés à l'auget, de sorte que les grains glissent insensiblement dans l'ouverture de la meule courante.

Une sonnette C informe le meunier que la trémie I ne contient presque plus de blé. Une ficelle relie la sonnette c à un taquet b et se rend de là sur une poulie dans la trémie. A son extrémité est fixé un morceau de bois assez grand, mais léger, que le meunier, en versant le blé, met parmi celui-ci, de telle sorte que le taquet b se maintient assez haut pour que dans la rotation de l'arbre le doigt a ne puisse l'atteindre. Mais la quantité de blé devient insensiblement si petite qu'elle n'est plus en état de maintenir le bois, et le taquet b descend alors assez pour que le doigt a fasse tinter la cloche à chaque rotation.

L'horloge. Si l'on réussit à communiquer à un corps un mouvement parfaitement uniforme, de telle sorte qu'en des temps égaux il parcoure des espaces égaux, ce mouvement peut nous rendre le service important de fixer la mesure du temps; et c'est ce que nous exigeons d'une bonne montre. Ce problème serait vite résolu, si nous avions à notre disposition des forces possédant une action parfaitement uniforme. Mais ce n'est pas là le cas, car les poids, aussi bien que les ressorts, qui se sont montrés comme les moteurs les plus avantageux du mouvement de nos montres, exercent une action inégale.

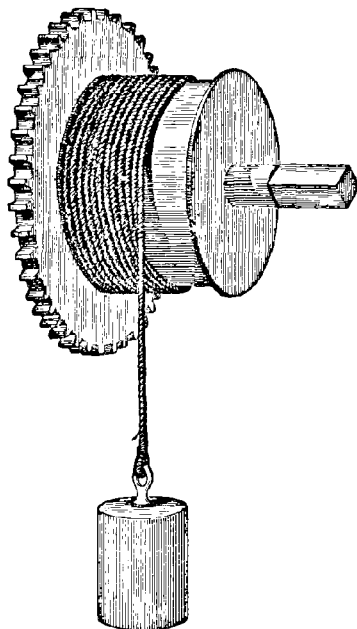


Fig. 78.

Si nous roulons (fig. 78) la corde à laquelle est suspendu un poids autour d'un cylindre et auquel se trouve adaptée une roue dentée, cet appareil, en vertu du poids qui tire vers le bas, tournera d'abord lentement, mais le mouvement ne tarde pas à s'accélérer, parce que le poids, comme corps tombant, acquiert une vitesse qui s'accélère rapidement.

Employons le ressort (fig. 79), composé d'une lame d'acier extrêmement

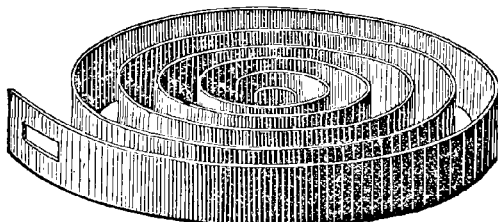


Fig. 79.

élastique, fixons son extrémité extérieure à un point fixe, et son extrémité intérieure à un axe tournant sur lui-même. Si je remonte ce ressort en le roulant sur lui-même, cet appareil devra, en vertu de son élasticité, faire tourner

l'axe en sens opposé (fig. 80). Dans le premier moment, quand le ressort est fortement tendu, cette rotation sera très-rapide, mais elle diminuera bientôt et cessera même totalement quand l'appareil aura repris sa forme primitive.

Que les rouages soient mis en mouvement par un poids ou par un ressort, toujours est-il que leur mouvement serait beaucoup trop inégal

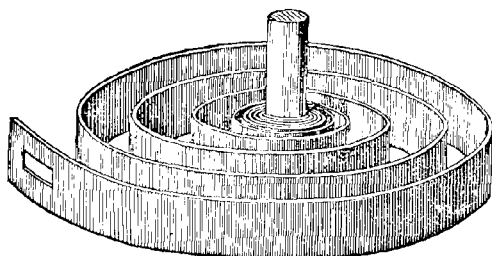


Fig. 80.

pour que l'aiguille, mue par eux, pût parcourir sur le cadran, heure par heure, des espaces égaux.

Cependant, si nous interrompons le déroulement de la corde par le poids au moyen d'une résistance qui s'y oppose

d'une manière régulière et à de courts intervalles, il est évident que le poids ne pourra pas acquérir son accélération de vitesse; que, par conséquent, la corde se déroulera lentement et régulièrement du cylindre auquel elle est attachée, et qu'elle communiquera à l'ouvrage adapté à ce cylindre un mouvement régulier. De même, si un ressort tendu communique, au moyen de son axe, avec un rouage qui subit également à de courts intervalles un arrêt momentané, ce ressort ne pourra pas se dérouler subitement, mais sa force se répartira sur un plus long espace de temps.

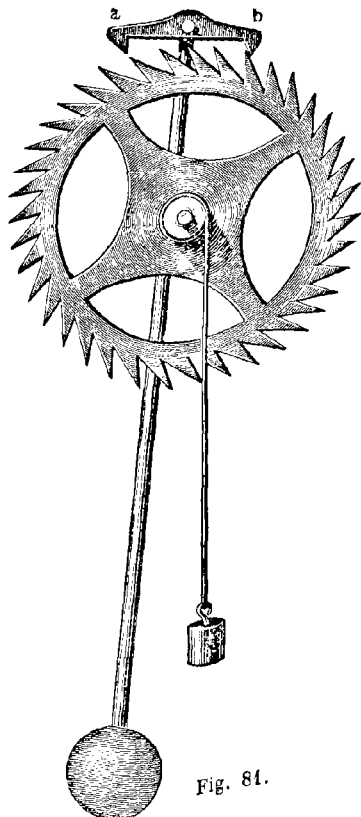


Fig. 81.

Cette réflexion conduisit à l'application d'une disposition semblable à toutes les horloges; on la nomme le régulateur.

Cette régularisation s'effectue de la manière la plus parfaite à l'aide du pendule, dont nous savons, par le § 68, que jusqu'à un certain degré d'amplitude toutes les différentes oscillations ont une durée égale.

Qu'il y ait (fig. 81) une roue dentée fixée à l'axe sur lequel le poids agit, et qu'au-dessus d'elle il y ait un pendule dont la partie supérieure,

nommée ancre, soit pourvue des dents *a* et *b*, qui sont destinées à s'engrener dans les dents de la roue, on comprend facilement que lorsque ce pendule oscillera, ses dents prendront alternativement à droite et à gauche dans celles de la roue et produiront, de cette manière, un arrêt court et momentané, qui transformera en une vitesse uniforme la vitesse accélérée du poids qui tombe. Lorsque l'ancre est horizontale, ses deux dents s'engrènent simultanément et empêchent totalement la rotation de la roue. C'est ainsi qu'on peut arrêter une pendule en retenant quelques instants le balancier dans une direction verticale, et qu'on la fait de nouveau marcher en lui donnant une légère impulsion.

§3. La régularisation d'une montre de poche offre plus de difficultés, car on ne peut, naturellement, pas y adapter un pendule. On chercha, dans le principe, à régulariser l'action du moteur au moyen de la fusée *C* (fig. 82), disposition qu'on trouve ordinairement dans les anciennes montres, dites ordinaires.

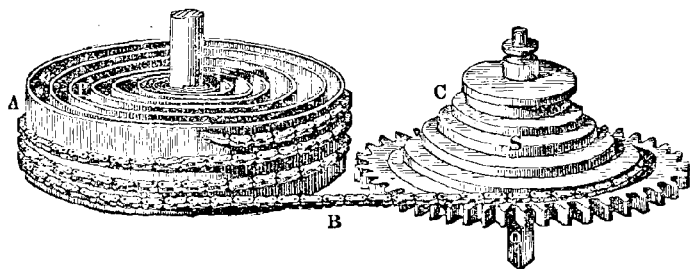


Fig. 82.

Au moyen de la clef de montre, on fait tourner le tambour conique *C*, nommé fusée, dont la surface supérieure possède une rampe hélicoïdale en plan incliné. Cette roue est en communication par une chaîne avec le tambour *A* (nommé aussi barillet), sur lequel la chaîne se fixe et s'enroule. À l'intérieur du tambour est fixé l'un des bouts du ressort, dont l'autre bout est tenu à une broche fixe. Lorsqu'en remontant la montre on enroule la chaîne du tambour sur la rampe de la fusée, le tambour fait plusieurs circonvolutions et tend de cette manière le ressort, qui, aussitôt que l'ouvrage est abandonné à lui-même, se déroule de nouveau et fait éprouver au tambour une rotation en sens opposé. Mais dans cette rotation le tambour doit, par l'intermédiaire de la chaîne, communiquer un mouvement à la fusée *C*, dont les dents mettent en mouvement le reste des rouages. Immédiatement après que la montre est remontée, alors que le ressort a le plus de puissance, il agit, par l'intermédiaire de la chaîne, sur la rampe supérieure de la fusée qui a le plus petit diamètre, et à mesure que la puissance du ressort diminue, les contours deviennent plus grands, de telle sorte que

la puissance, en diminuant constamment, agit sur un bras de levier qui devient toujours plus grand, et que l'inégalité du mouvement acquiert par là une régularité précieuse pour notre service.

Cependant, le mécanisme que nous venons de citer ne suffit pas encore à la régularisation complète. Dans les nouvelles montres, qui possèdent un échappement perfectionné, il n'existe même plus. La figure suivante nous en donne un exemple. Nous avons là (fig. 83) tout l'ouvrage d'une montre. Pour la clarté, tous les axes des roues sont représentés plus longs

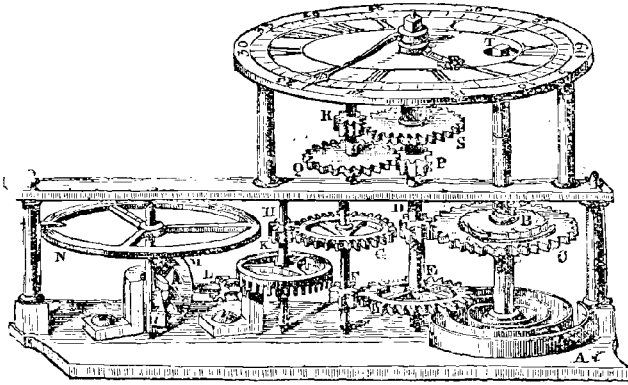


Fig. 83.

qu'il ne sont en réalité. Nous faisons également remarquer au préalable que les roues *P Q R S* constituent la *minuterie*, et toutes les autres le *mouvement*.

Au moyen du bout *T* travaillé en carré, on tend le ressort *A*, ou, autrement dit, on remonte la montre; alors l'élasticité du ressort fera tourner en sens opposé non-seulement son propre axe, mais encore la roue dentée *C* qui y est fixée et qui se nomme la roue du barillet.

Cette roue engrène d'abord dans le pignon *D*, au moyen duquel la minuterie est mise en mouvement. La tension du ressort et l'influence de l'échappement que nous décrirons tout à l'heure doivent être telles, que l'axe de la petite roue *P*, dite roue à minutes, fasse un tour complet en une heure. A l'extrémité de cet axe, sur le cadran, est fixée l'aiguille à minutes, qui doit, par conséquent, en 12 heures, faire 12 tours.

Mais, comme on le sait, l'aiguille à heure ne doit, dans le même temps, faire qu'un seul tour. Remarquons d'abord que l'axe de l'aiguille à heure est creuse, qu'elle tourne sous forme de tube autour de l'axe de l'aiguille à minutes, et qu'elle porte à son extrémité la roue dentée *S*.

Voyons ensuite comment, par l'emploi de plusieurs roues dentées (comp. § 76), la rotation douze fois répétée de la roue à minutes *P* se transforme en une rotation unique de la roue à heure *S*. A cet effet, la roue à minutes possède 8 dents et s'engrène dans la roue de renvoi *Q*, qui possède 24 dents. L'axe de cette dernière, ainsi que le pignon *R* y attaché, ne font donc que quatre tours en 12 heures.

Au pignon *R* il y a 8 dents, qui s'engrènent dans 32 dents de la roue à heures *S*; par conséquent, celle-ci ne tourne qu'une fois pendant que *R* fait quatre tours et que la roue à minutes en fait douze.

Poursuivons maintenant le mouvement. La roue moyenne ou du centre *E*, le pignon *F*, la roue petite moyenne *G*, le pignon *H* propagent le mouvement et font tourner la roue de champ *K*, qui transmet par le pignon *L* son mouvement à la roue de rencontre ou d'échappement *M*, possédant un axe horizontal et des dents d'une conformation particulière. Devant cette roue de rencontre, nous voyons un axe vertical, la verge du balancier, qui porte tout à fait en haut le balancier *N*, tandis que plus bas on a adapté deux palettes *i i'*, dont la distance de l'une à l'autre est égale au diamètre de la roue de rencontre et qui sont placées sur la verge de manière à former entre elles un angle droit. Ces dernières parties constituent avec la roue de rencontre l'échappement de la montre.

Car lorsqu'une dent à l'extrémité de la roue d'échappement rencontre la palette supérieure *i*, celle-ci reçoit une impulsion en arrière. Bientôt après, la palette inférieure *i'* rencontre une dent inférieure de *M* et reçoit d'elle la même impulsion, de telle sorte que, tant que la roue de rencontre tourne, les palettes *i i'* sont poussées alternativement en avant et en arrière. On conçoit que par là la verge et le balancier subissent des quarts de rotation alternant successivement. Mais chaque fois qu'une palette se heurte à une dent de la roue de rencontre, celle-ci reçoit du balancier un choc en retour, parce que ce dernier ne peut pas perdre toute sa vitesse, et la roue d'échappement subit un certain arrêt.

Si les oscillations du balancier avaient, comme celles du pendule, une durée égale, les arrêts qui en résulteraient auraient aussi une durée égale et, par conséquent, la marche du rouage serait régulière. Mais cela n'a pas lieu, parce que c'est le ressort lui-même qui détermine primitivement et qui entretient constamment les oscillations du balancier, de sorte que les irrégularités du moteur se propagent jusqu'au balancier.

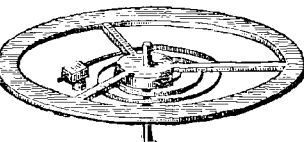


Fig. 84.

Mais ces irrégularités subissent une atténuation essentielle, lorsqu'il se trouve adapté au balancier un tout petit ressort, nommé *le spiral* (fig. 84). Au moyen de cette disposition le balancier est mis

en mouvement par la plus légère impulsion et accomplit des oscillations de durées à peu près aussi égales que celles du pendule, sauf qu'avec le spiral elles ont lieu sur un plan horizontal, tandis qu'avec le pendule elles se font sur un plan vertical et que, dans le premier cas, elles sont entretenues par l'élasticité du spiral et dans le second par la pesanteur. De cette manière, il est devenu possible d'obtenir de la régularité dans la marche des montres, qui, depuis l'introduction du spiral, a acquis la plus grande exactitude.

D'après ce que nous venons de dire, la montre est réglée par les oscillations du balancier; il faut donc que celles-ci aient une durée bien déterminée. La montre avancera si les oscillations se succèdent trop rapidement; elle retardera dans le cas contraire. Il doit, par conséquent, exister un moyen de donner aux oscillations du balancier une durée exactement déterminée. Cela se fait en raccourcissant ou en allongeant à volonté le spiral; car, on comprend que sa tension est augmentée par le raccourcissement et diminuée par l'allongement, et que le nombre de

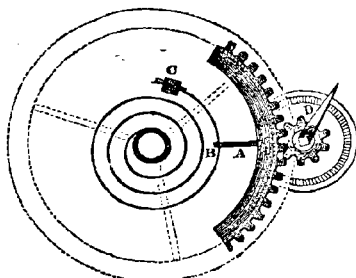


Fig. 85.

oscillations, dans un temps déterminé, augmente ou diminue dans le même rapport.

Cette disposition se trouve reproduite dans la correction ou le râteau (fig. 85). Le spiral, tenu dans une goupille, repose en *B*, dans une échancrure du bras *A*, travaillé d'une pièce avec le segment de cercle denté. Il en résulte que l'élasticité du spiral n'opère son effet qu'à partir du point *B*. Lorsqu'on fait tourner l'aiguille *D* dans l'une ou l'autre direction, l'on obtient, par suite du déplacement du pignon qui prend dans l'engrenage du râteau, un déplacement correspondant du bras *A*, et la partie inactive du spiral *BC* est raccourcie ou allongée. On donne ainsi aux oscillations la durée voulue.

84. Les montres à cylindre diffèrent des montres à verge que nous venons de décrire, en ce que, dans ces dernières, l'échappement se fait par une roue verticale, tandis que dans les montres à cylindre les dents d'une roue horizontale engrènent dans l'axe même du balancier, qui est creux et échancré d'une manière particulière et qu'on nomme cylindre. Cette disposition permet de donner aux montres à cylindre une forme plus plate, qui les rend plus portatives et les fait reconnaître au premier aspect.

85. Les rouages de montres étaient inconnus dans l'antiquité et il existe assez d'incertitude relativement au nom de leur auteur et à l'époque de leur invention. Les premiers rouages artificiels, surtout pour des

usages astronomiques, se rencontrent dans des monastères, et c'est là aussi qu'on aura probablement construit les premières horloges à poids.

L'invention des montres de poche est généralement attribuée à Pierre Hele de Nuremberg (1500), dont les ouvrages étaient connus, d'après leur forme, sous le nom d'aufs de Nuremberg.

Il est certain, par contre, que l'exactitude voulue dans la marche des montres n'a été atteinte que par le physicien hollandais Huygens (1657), qui, le premier, a eu l'idée d'employer le pendule et le spiral pour les régler.

B. ÉQUILIBRE ET MOUVEMENT DES CORPS LIQUIDES.

86. Les différentes molécules d'un liquide exercent, à la vérité, les unes sur les autres une attraction sensible, mais si petite, qu'elles se déplacent et se séparent les unes des autres avec la plus grande facilité. C'est de là que provient cette grande mobilité des liquides, parce que chacune des molécules peut suivre librement la direction de la pesanteur. Tous les phénomènes que nous considérons ici peuvent se déduire de ces propriétés fondamentales des liquides.

Un liquide est en équilibre quand toutes les molécules situées à sa surface libre se trouvent à une distance égale du centre de la terre. Il faut donc que la surface de tout liquide en repos soit un segment d'une surface de sphère. Il en est effectivement ainsi sur de grandes étendues d'eau; ainsi à la superficie de la mer, par exemple, on s'en aperçoit distinctement. Mais de plus petites surfaces de liquide paraissent des plans parfaits, rectangulaires avec la direction de la pesanteur.

En effet, qu'une partie du liquide soit amenée dans une situation plus haute que l'autre, il y a, en vertu du déplacement facile des particules, un mouvement qui dure jusqu'à ce qu'elles soient toutes revenues à leur état d'équilibre.

Une conséquence des conditions d'équilibre dans les liquides est que, dans des vases dont une partie est plus large que l'autre, ou dans des vases différents qui communiquent entre eux, la hauteur du liquide sera la même partout, c'est-à-dire que le liquide aura partout le même niveau. Nous voyons cela dans les arrosoirs, les théières, les lampes, où le liquide est absolument à la même hauteur dans la partie rétrécie que dans la partie plus large. Quand on s'empare d'une source située sur une hauteur et qu'on l'amène dans la plaine, la source constitue un vase communiquant par les conduits avec la fontaine, et l'eau doit, dans ce vase, se mettre partout à la même hauteur; ainsi s'explique la construction des jets d'eau.

87. Le degré de pression que supporte le fond d'un vase rempli d'eau ne dépend pas du tout de la quantité de liquide qui s'y trouve, mais uniquement de la hauteur du liquide et du fond du vase. Les expériences les plus décisives ont démontré que lorsque la hauteur et le fond de vases différents sont égaux, comme cela existe dans les fig. 86, 87, 88 et 89, la pression sur le fond du vase est toujours la même. La quantité

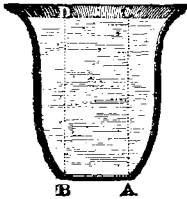


Fig. 86.



Fig. 87.



Fig. 88.

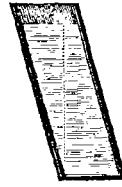


Fig. 89.

de liquide, par contre, est fort différente. On peut donc, avec fort peu de liquide, exercer une très-grande pression, en le versant dans un tuyau étroit qui est très-haut et qui s'élargit considérablement en dessous. L'effet est absolument le même que si le tuyau avait, sur toute sa hauteur, une largeur égale à celle du fond.

Si un centimètre cube d'eau pèse un gramme, et si le fond du vase a 32 centimètres carrés, et que la hauteur du liquide soit d'un centimètre, il y aura pression sur le vase de 1×32 centimètres cubes d'eau, soit de 32 grammes.

Mais si la hauteur de la colonne de liquide était de 1 mètre, la pression serait égale à 100×32 centimètres cubes d'eau ou égale à 3200 grammes. Dans des vases contenant des liquides, la paroi latérale subit également une pression qui, pour des parties égales de la paroi, est d'autant plus grande qu'elle est plus rapprochée du fond du vase. Cette pression est même utilisée comme force motrice, par exemple, dans la roue de Segner et dans la turbine.

88. *Lorsqu'une partie de la surface du liquide subit une certaine pression, cette pression se propage uniformément dans toutes les directions.*

Dans un vase clos de toutes parts, je fais supérieurement et latéralement une ouverture, chacune de ces ouvertures ayant un centimètre carré. Je bouche l'ouverture latérale et je remplis totalement le vase d'eau ; je presse alors, au moyen d'un tampon, par l'ouverture supérieure, sur le liquide avec une force égale à 100 livres. Chaque partie des parois du vase, qui occupe

un centimètre carré d'étendue, subit ainsi de dedans en dehors une pression égale à 100 livres. Si la superficie contient 60 centimètres carrés, la pression totale sur les parois est de $60 \times 100 = 6000$ livres. Le bouchon qui ferme l'ouverture latérale supporte une pression de 100 livres. S'il ne peut la supporter, il sera chassé au dehors. Si l'ouverture latérale était égale à deux centimètres carrés, il faudrait comprimer du dehors avec une force de deux cents livres pour faire équilibre à la pression intérieure. Ainsi s'explique que les parois des vases dans lesquels on veut comprimer des liquides, doivent posséder une force convenable. Quand on remplit une bouteille d'eau jusqu'au bord, et qu'on veut la boucher en frappant un léger coup sur le bouchon, la bouteille crève. C'est pourquoi en mettant le vin en bouteilles on prend, pour les boucher, la précaution

de laisser au-dessus du vin une couche d'air d'un pouce au moins, sa compressibilité facile écartant tout danger.

89. La presse hydraulique repose sur l'application du principe dont nous venons de parler. Elle se compose d'une pompe foulante, dont la fig. 90 montre la forme extérieure, tandis que les fig. 91 et 92 nous en donnent la coupe ainsi que celle de la presse avec laquelle elle est réunie.

Nous voyons (fig. 91), plongé dans le cylindre creux *cc*, le piston *pp*, qui porte supérieurement le plateau *nn*. La levée de ce piston s'effectue au moyen de la pression hydraulique. Par le jeu du piston *s*

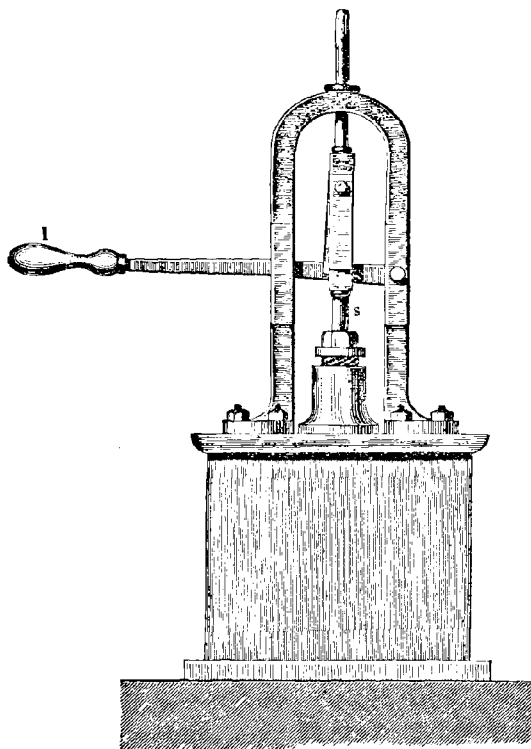


Fig. 90.

de la pompe (fig. 92), l'eau est comprimée et envoyée par le tuyau *tt* dans

l'espace creux du cylindre *c c* (fig. 91), et c'est par cette pression que le piston *p p* est levé. Autant de fois que la surface inférieure du piston de

la presse *p p* sera plus grande que la surface de la coupe transversale du piston de la pompe *s*, autant de fois la force qui lève le piston de la presse sera plus grande que celle qui abaisse le piston de la pompe *s*. Que la coupe transversale de *s* soit égale à un centimètre carré, celle de *p p* égale à 100 centimètres carrés, si je comprime *s* avec une force de 600 livres, ce qui, par l'emploi du levier *l* (fig. 90), peut se faire avec une dépense de force de 100 li-

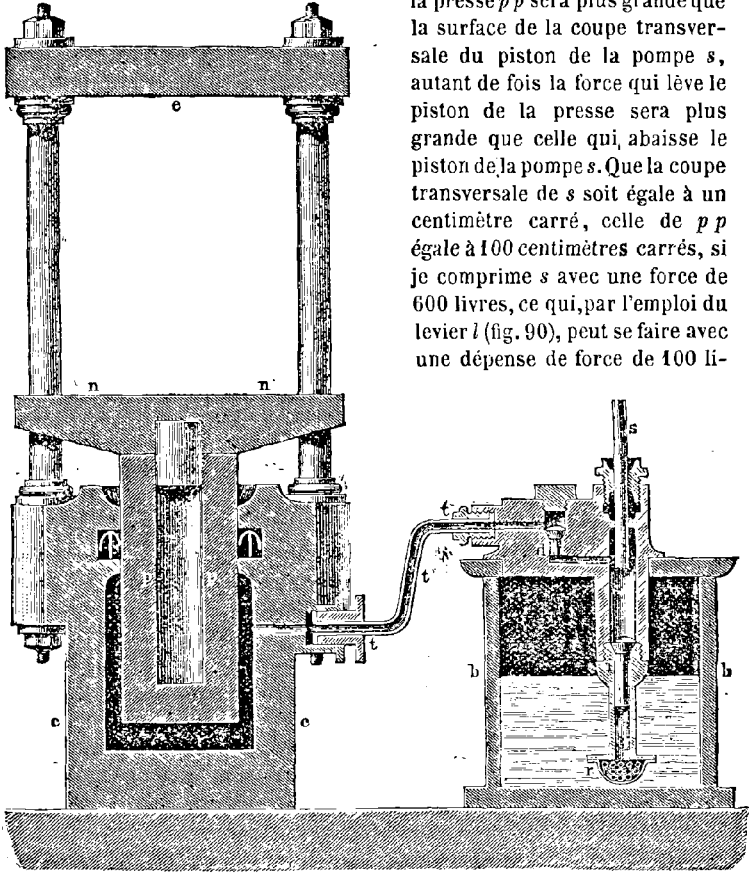


Fig. 91.

Fig. 92.

vres, le piston de la presse *p p* sera levé avec une force de 6,000 livres, et un objet se trouvant entre le plateau *n n* et le chapeau *e* sera comprimé avec la même force. Le petit espace qu'occupe la presse hydraulique et la facilité de son maniement lui donnent, dans beaucoup de cas, des avantages considérables sur les presses à levier et à vis.

90. Lorsque nous essayons de faire pénétrer dans de l'eau un vase

vide quelconque, par exemple, un verre ou un seau, en le présentant par le fond, nous éprouvons toujours une certaine résistance; il faut déployer une certaine force pour faire entrer de cette manière le vase dans l'eau. Aussitôt que la force cesse, le corps plongé remonte. Il y a incontestablement une pression de bas en haut, agissant sur la surface inférieure du vase, qui produit ce phénomène; cette pression se nomme *poussée*; elle est égale au poids d'une colonne d'eau ayant la même coupe transversale que le corps plongé et la même hauteur que celui-ci, depuis son fond jusqu'au niveau d'eau. Si, par exemple, la surface du fond du seau comporte 10 décimètres carrés, et qu'on l'ait plongé à 3 décimètres de profondeur sous le niveau d'eau, la poussée qu'il subira sera égale à 30 décimètres cubes d'eau. Et, en effet, si je verse cette quantité, soit 30 litres d'eau, dans le seau, je fais équilibre à cette pression: elle n'est plus sensible, bien qu'elle existe encore. On peut conclure de là que tous les corps plongés dans l'eau subissent cette pression de bas en haut; mais l'effet s'en manifeste d'une manière différente selon la pesanteur spécifique des corps. C'est ce que nous allons rechercher.

Nous voyons (fig. 95), un cylindre plongé dans l'eau. Il subit sur toute sa surface la pression de l'eau qui l'entoure. Chaque pression

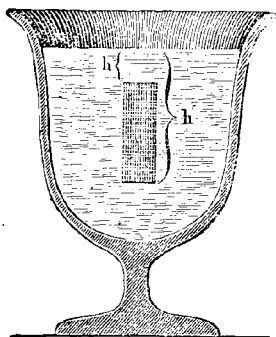


Fig. 95.

latérale est équilibrée par une pression semblable du côté opposé. Même à sa face inférieure, il y a deux forces comprimant en sens opposé qui se rencontrent. De haut en bas pressent le poids du cylindre et le poids de la colonne d'eau h qui lui est superposée. De bas en haut, par contre, agit la poussée dont nous venons de parler et qui, ainsi que nous l'avons dit, est égale au poids d'une colonne d'eau ayant pour base celle de la section transversale du cylindre et pour hauteur la distance de sa face inférieure au niveau d'eau h . Si nous

avons fait l'expérience avec un corps possédant la même pesanteur spécifique que l'eau, la somme du poids du cylindre et de la colonne d'eau superposée h , ou la force pressant de haut en bas, sera égale au poids de la colonne d'eau h , qui représente la poussée. Les deux pressions agissant sur le cylindre se maintiennent donc en équilibre: il ne baissera ni ne montera. On peut démontrer que le poids de ce cylindre est complètement annihilé; il suffit de le suspendre au moyen d'un fil au fléau d'une balance. Le fléau ne déviara pas davantage que si l'on y appliquait un fil attaché à une pierre qui repose sur la table.

Mais qu'arrive-t-il, lorsque le corps plongé a une pesanteur spécifique plus grande ou moindre que celle de l'eau, de sorte que, tout en ayant le même volume que ce cylindre, il est plus ou moins pesant ?

En tout cas, la pression exercée par le liquide reste la même. Mais si le corps est plus léger que le liquide, il ne peut lui faire équilibre ; il s'élève et il surnage ; s'il est plus pesant, le liquide portera bien une partie de son poids, mais non le tout, et le corps ira au fond.

91. La loi déduite de ce qui précède, désignée, d'après celui qui l'a découverte, sous le nom de principe d'Archimède, est la suivante :

Lorsqu'on plonge un corps dans l'eau, il perd une partie de son poids, et cette partie de poids équivaut au poids d'un volume d'eau correspondant exactement au volume du corps.

Quelques exemples journaliers prouveront la vérité de cet axiome. On soulève et on entraîne avec facilité un seau rempli d'eau, aussi longtemps qu'il plonge dans l'eau, parce que celle-ci supporte tout son poids. Mais en dehors, il faut au contraire une grande force, correspondant à tout le poids de la charge. De même, on peut, avec un doigt, soulever et déplacer un homme qui est dans l'eau.

Des corps qui nagent, dont une partie seulement plonge dans le liquide, sont soumis à la loi suivante : « Le poids d'un corps qui nage est égal au poids du liquide occupant le même volume que sa partie immergée. »

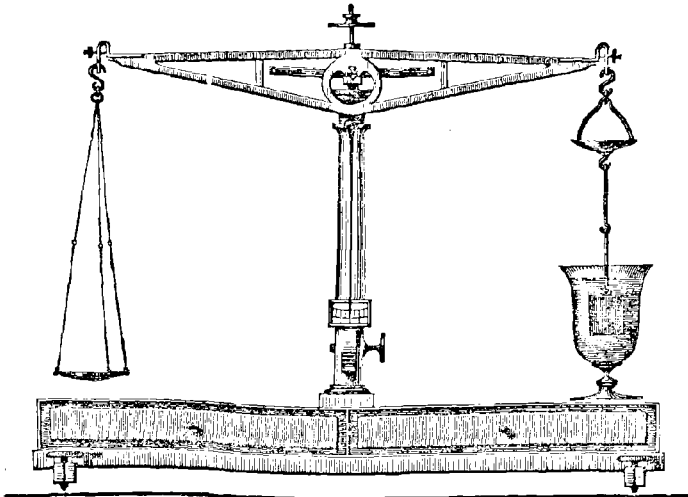


Fig. 94.

92. C'est sur le principe d'Archimède que reposent les méthodes

suivantes pour déterminer la pesanteur spécifique des corps solides et liquides. Un centimètre cube d'eau pèse 1 gramme. Nous prenons un corps quelconque, par exemple, un morceau de plomb; nous le pesons, comme d'habitude, dans l'air, et nous trouvons qu'il pèse 22 grammes; nous le pesons ensuite, comme dans la fig. 94, dans l'eau, et nous trouvons que l'eau porte 2 grammes de son poids. Nous concluons de cette expérience que 22 grammes de plomb occupent le même espace, ou ont le même volume que 2 grammes d'eau (par conséquent, 2 centimètres cubes), ou, ce qui est la même chose, que 11 grammes de plomb occupent le même espace qu'un gramme d'eau; que, par conséquent, la densité du plomb est 11 fois plus grande que celle de l'eau.

Une autre disposition très-simple sert à déterminer le poids spécifique. C'est l'aréomètre de Nicholson (fig. 95). Il consiste en un cylindre de

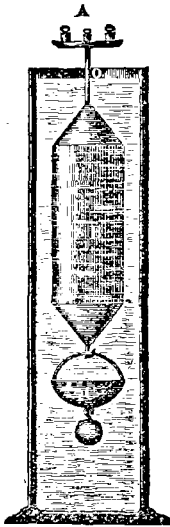


Fig. 95.

laiton *B*, qui porte supérieurement sur une tige mince le petit plateau *A*, tandis qu'inférieurement il s'y trouve suspendu une petite corbeille *C* percée de trous. L'instrument est disposé de telle manière que le cylindre *B* remonte en partie hors de l'eau dans laquelle on l'a plongé. *A* la tige, près de *O* on a fait une marque par un trait de lime. Le corps dont on veut déterminer le poids spécifique est placé sur le plateau; l'instrument s'immergera davantage, et par l'addition de poids on l'amène à s'immerger exactement jusqu'à la marque. En ôtant alors le corps et en le remplaçant par autant de poids qu'il faut pour faire plonger l'aréomètre jusqu'à la marque, ce poids qui le remplace est évidemment égal au poids absolu de ce corps.

On enlève alors le poids qui remplaçait le corps et on place le corps lui-même dans la petite corbeille *C*; dans ce cas l'instrument ne peut pas s'immerger jusqu'à la marque *O*, puisque le corps plongé dans l'eau perd de son poids, une valeur égale au poids de l'eau qu'il déplace; ce poids se détermine lorsqu'on ajoute sur le plateau le poids nécessaire pour faire descendre de nouveau l'aréomètre jusqu'à la marque *O*. Sur ces données, on calcule le poids spécifique du corps, comme il a déjà été indiqué au § 21.

93. Aréomètre avec échelle. Si je prends un tube de verre à peu près de la forme de la fig. 96, dont le centre de gravité, par suite du mercure mis dans la partie inférieure, se trouve placé assez bas pour que, plongé dans un liquide, il nage en conservant la position verticale, il est clair que dans

des liquides différents il plongera à une profondeur inégale. Par notre tableau p. 32, nous savons déjà que les densités de l'alcool, de l'eau et de l'acide sulfurique sont entre elles comme les nombres 0,79 : 1 : 1,84. Si je mets le tube dans l'eau et qu'il plonge jusqu'au point *x*, l'eau qui a été déplacée doit peser autant que tout l'instrument; plongé dans l'alcool, il devra déplacer davantage de ce liquide, puisqu'il est plus léger; par conséquent, il plongera davantage; par contre, dans l'acide sulfurique, il plongera beaucoup moins, car celui-ci a une densité presque double de l'eau.

En plongeant peu à peu de tels tubes dans des liquides de densités connues, et en marquant les points d'immersion, on obtient une échelle qui fait de cet aréomètre un instrument très-commode pour comparer entre elles les densités de différents liquides. On les emploie dans les arts sous les noms de pèse-liqueurs, pèse-acides, pèse-sels, pèse-lait, etc. Mais il est bon d'observer que, sur les échelles des aréomètres, ce ne sont pas toujours des pesanteurs spécifiques qui sont marquées, mais souvent les degrés des liquides, c'est-à-dire, la quantité de substance que 100 parties contiennent.

94. Quand les liquides s'écoulent par des ouvertures qui se trouvent au fond ou aux parois latérales des vases, et que la hauteur de pression est la même, la vitesse d'écoulement est absolument la même que si un corps tombait librement du niveau du liquide à l'ouverture d'écoulement; la vitesse d'écoulement ne dépend par conséquent que de la profondeur de l'ouverture sous le niveau et non de la nature des liquides; sous des hauteurs égales de pression, l'eau et le mercure s'écoulent avec la même vitesse. Les vitesses d'écoulement sont égales aux racines carrées des hauteurs de pression. Si ces dernières étaient, par exemple, 100 ou 16, les vitesses d'écoulement correspondantes sont de 10 et de 4.

Indépendamment de la hauteur de pression, la quantité de l'écoulement dépend encore de la grandeur et de la forme de l'ouverture; et un fait remarquable c'est qu'un jet qui s'écoule d'une paroi mince subit, à la sortie, une contraction notable, s'élevant à un tiers, de manière que la quantité d'écoulement est effectivement diminuée. Par contre, lorsqu'on adapte des tuyaux de forme conique ou cylindrique, la quantité d'écoulement augmente. Le jet s'écoulant d'ouvertures latérales fait une ligne courbe qui résulte de la hauteur de pression et de la pesanteur et constitue une parabole.

De l'eau, conduite dans des tuyaux, subit une diminution notable de



Fig. 96.

vitesse par le frottement aux parois, surtout quand il y a beaucoup de courbes. Cependant l'eau qui s'écoule librement dans des canaux ou dans des fleuves est également sujette à ce retard; pour cette raison, l'écoulement de l'eau est plus rapide quand l'eau est haute que lorsqu'elle est basse. Le choc de l'eau courante est, comme on sait, fréquemment employé comme force motrice.

C. ÉQUILIBRE ET MOUVEMENT DES CORPS GAZEUX.

95. Nous avons démontré, aux §§ 22 et 25, les propriétés qui distinguent si manifestement les fluides aëriiformes ou les gaz des liquides et des solides.

Dans l'examen plus attentif auquel nous allons nous livrer, nous prendrons souvent l'air pour exemple, car toutes les propriétés générales qui s'y manifestent appartiennent également aux autres espèces de gaz.

Les molécules de l'air sont tenues par leur chaleur à une telle distance que leur attraction mutuelle paraît suspendue. Si nous nous imaginons, par conséquent, quatre molécules *a* (fig. 97) enfermées dans un espace donné, elles n'auront nullement une tendance à se rapprocher les unes des autres dans la direction des flèches, jusqu'à ce qu'elles se touchent. Elles auront, au contraire, une tendance à s'éloigner de plus en plus les unes des autres, comme les flèches (fig. 98).

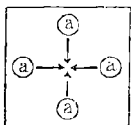


Fig. 97.

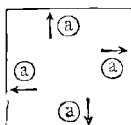


Fig. 98.

Les gaz sont donc des corps dont les molécules ont une tendance à s'écarter de plus en plus les unes des autres : on attribue ce fait à une répulsion mutuelle particulière qui existerait entre leurs molécules.

96. Cette expansibilité des gaz, qu'on désigne sous les noms de *force d'expansion*, d'*élasticité* ou de *tension*, constitue leur propriété fondamentale, dont nous déduisons les conclusions les plus importantes. Nous nous servons, pour la démontrer, d'une disposition très-simple, dans

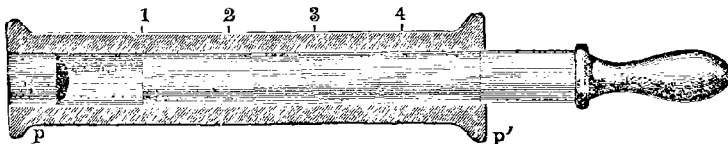


Fig. 99.

laquelle on reconnaîtra un jouet d'enfant *p p'* (fig. 99); nous introduisons

le piston *S* assez loin pour qu'il reste un espace *A*, que nous fermons en introduisant le bouchon *K*. Cet espace *A* contient un certain nombre de molécules; admettons-en par exemple, 16, qui se repoussent mutuellement, qui cherchent à s'éloigner les unes des autres et qui, par conséquent, exercent sur les parois qui les entourent une pression correspondante à leur nombre. La surface interne de l'espace *A* subira donc une pression égale à 16.

En retirant le piston jusqu'à 2, il en résulte un espace, qui est évidemment le double de *A*. Les molécules d'air qui se repoussent ne tardent pas à venir occuper cet espace et s'y répartissent d'une manière égale. **Figurons-nous maintenant qu'une cloison vienne subitement fermer l'espace *A***: nous n'y trouverions plus que la moitié des molécules d'auparavant; leur pression totale sur les parois de *A* ne peut être que la moitié ou 8. En retirant encore le piston, par exemple, jusqu'à 4, l'espace deviendrait quadruple, mais en même temps le nombre des molécules d'air se répartit de telle manière que, dans l'espace primitif *A*, il n'y en a plus que 4; la pression n'est donc plus que $\frac{1}{4}$ de ce qu'elle était primitivement.

Mais lorsque au contraire nous faisons avancer le piston, les molécules d'air se rapprochent de plus en plus. Quand, par exemple, l'espace n'est plus que la quatrième partie de *A*, la pression des molécules d'air enfermées s'exercera sur une surface quatre fois plus petite et sera par suite quatre fois plus forte. **Figurons-nous que quatre hommes placés à égales distances poussent contre un mur, qui résiste à leur pression; si je fais rapprocher les quatre hommes de telle sorte que toute leur force n'agisse que sur la quatrième partie du mur, celui-ci doit cesser de résister à une pression quatre fois plus forte et tombera plus facilement.**

En effet, nous savons depuis longtemps que le bouchon *K* finira par ne plus résister à l'augmentation de la pression et qu'à un moment donné il sortira avec un bruit semblable à une détonation.

97. Nous avons, dans l'exemple précédent, une seule et même quantité d'air à des états différents d'expansion ou de tension. Nous avons vu de la manière la plus claire sa tension diminuer avec l'augmentation de son expansion, tandis que sa tension augmente lorsqu'il est comprimé dans un plus petit espace.

La loi qui s'y rapporte, et qui a été découverte par Mariotte, est la suivante : « *La tension d'un gaz est en raison inverse de l'espace qu'il occupe.* »

Par conséquent pour une même quantité d'air :

La tension est	1	2	3	4	5	6	100	<i>n</i> .
L'espace étant	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{n}$

Si nous comprimons, par conséquent, de l'air dans un appareil conve-

nable, de telle sorte qu'il n'occupe plus qu'un espace très-petit, la tension est tellement augmentée, qu'on peut l'employer à des effets très-violents, comme nous le voyons dans la carabine à vent.

98. En raison de la tendance de ses molécules à s'éloigner de plus en plus les unes des autres, l'air se disperserait dans les espaces infinis, si l'attraction de la terre ne s'y opposait. La terre est donc entourée d'air comme d'une enveloppe, qu'on nomme atmosphère et dont la hauteur est de 10 à 12 milles géographiques.

Une autre conséquence de l'attraction, c'est que l'air exerce une pression sur tout ce qui le supporte. Nous pouvons mesurer cette pression ou, en d'autres termes, nous pouvons déterminer le poids de l'air. On prend pour cela une sphère creuse en verre (fig. 100), et on la pèse exactement avec

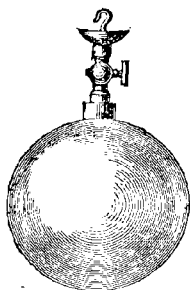


Fig. 100.

l'air qu'elle contient; on enlève alors l'air au moyen de la pompe pneumatique et on la pèse de nouveau. Ce que la sphère a perdu en poids, est le poids de l'air qui s'y trouvait. De cette manière on a trouvé que la densité de l'air était 770 fois plus petite que celle de l'eau. Supposons que cette sphère contienne exactement 10 grammes d'air; elle pourrait contenir, remplie d'eau, 7700 grammes de ce liquide. Par conséquent, 770 centimètres cubes d'air pèsent autant qu'un centimètre cube d'eau, c'est-à-dire un gramme.

99. Indépendamment de l'air atmosphérique, on connaît encore différents gaz, mais qui ne possèdent pas la même densité que lui. Ainsi, par exemple, l'hydrogène est 14 fois moins dense; le gaz d'éclairage a la moitié de la densité de l'air; le chlore gazeux, au contraire, est $2\frac{1}{2}$ fois, le gaz acide carbonique $1\frac{1}{2}$ fois plus pesant que l'air.

Nous reviendrons plus tard sur l'application des gaz d'une densité moindre à la navigation aérienne.

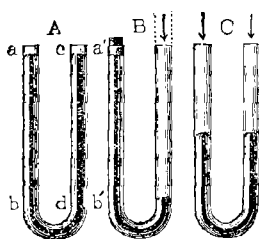


Fig. 101.

100. On peut, sans le secours de la balance, déterminer la pression que l'air exerce. Dans le tube courbé A (fig. 101), se trouve du mercure. D'après le § 86, les niveaux dans les deux branches sont également hauts, d'où résulte que la colonne de mercure *a b* fait parfaitement équilibre à la colonne *c d*.

On bouche maintenant l'ouverture *a*, de manière que l'air ne puisse y pénétrer, et on enlève la moitié du mercure. A notre surprise, le métal ne se met pas à égale hauteur dans les deux branches, mais il reste dans une branche, comme dans la fig. 101 B. Qu'est-ce donc qui fait équi-

libre à la colonne mercurielle *a' b'*? Rien autre chose que la colonne d'air qui presse sur l'autre branche, car cette colonne, nous devons nous la figurer prolongée jusqu'aux limites de l'atmosphère.

Quand on enlève le bouchon de l'ouverture *a'*, le mercure retombe aussitôt et se place, comme dans fig. 101 *C*, à même hauteur dans les deux branches. Pourquoi? Parce que l'air pèse maintenant d'une manière égale sur les deux ouvertures et établit ainsi l'équilibre.



Fig. 102.

101. Cependant, le résultat de cette expérience est tout autre lorsque nous employons un tube de verre d'une longueur considérable, de telle sorte que chaque branche ait environ la hauteur de 90 centimètres. Si nous procédons de la même manière que tout à l'heure, nous verrons que le mercure n'occupera pas totalement la branche bouchée, et que, comme dans la fig. 102, il retombera jusqu'à un certain point *c*. En mesurant la hauteur de la colonne mercurielle qui est restée debout, on trouve qu'elle atteint 28 pouces de Paris, ou 760 millimètres au niveau des mers.

102. Ce fait prouve d'une manière évidente que l'air ne peut faire équilibre à une colonne de mercure de hauteur quelconque.

En supposant que la section intérieure de notre tube représente un centimètre carré, nous avons les pressions suivantes, qui se tiennent en équilibre : d'un côté, une colonne de mercure d'un centimètre carré de base et de 76 centimètres de hauteur, soit du volume de 76 centimètres cubes; de l'autre côté, une colonne d'air ayant également un centimètre de base et pour hauteur toute la hauteur de l'atmosphère.

Une telle colonne de mercure pèse $1\text{k}^{\circ},053$; par conséquent, une colonne d'air dont la base est un centimètre carré et dont la hauteur est celle de l'atmosphère, pèse également $1\text{k}^{\circ},053$. Mais, comme l'air entoure notre terre et chacun des corps qui s'y trouvent, et que la pression de l'air, ainsi que celle de l'eau (§ 88), se propage dans toutes les directions, tout centimètre carré de la surface de chaque corps qui se trouve dans l'air supporte continuellement une pression de $1\text{k}^{\circ},053$.



Fig. 105.

Si la surface d'une table mesurait un mètre carré (fig. 105), cette surface aurait à supporter une pression atmosphérique de $10000 \times 1\text{k}^{\circ},053 = 10530$ kilogrammes.

La surface du corps d'un homme adulte mesure à peu près un mètre carré. Par conséquent, la pression atmosphérique que le corps humain supporte constamment équivaut au poids énorme de 10000 kilogr.

Cependant, nous ne sentons pas cette pression, d'un côté parce que, agissant sur toutes les parties à la fois, elle se neutralise, et, d'un autre

côté, parce que la tension de l'air qui se trouve à l'intérieur de notre corps fait équilibre à l'air extérieur. Si nous pouvions enlever subitement la pression atmosphérique sur un côté d'un homme, il aurait à supporter de l'autre côté une pression de 5000 kilogrammes, pression à laquelle aucune force humaine ne peut résister.

103. L'instrument le plus simple pour mesurer la pression atmosphérique est le *baromètre* (fig. 104 et 105). Il consiste en un tube de verre d'un diamètre de quelques millimètres et d'une hauteur de 90 centimètres à 1 mètre, et fermé au chalumeau à l'une de ses extrémités. On le remplit totalement de mercure, on ferme l'ouverture avec un doigt, et, après l'avoir plongé dans du mercure, comme fig. 104, on ouvre l'ou-



Fig. 104.

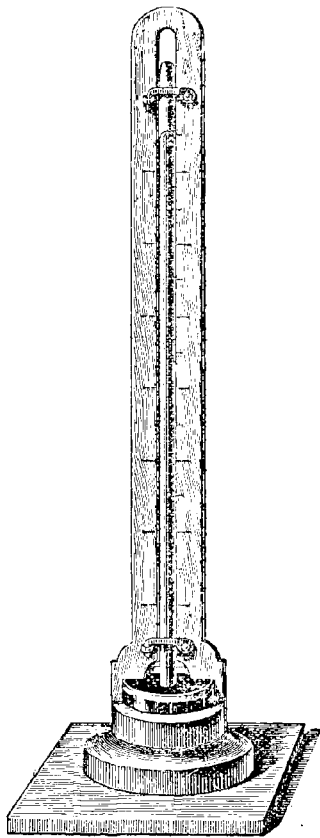


Fig. 105.

verture en retirant le doigt. Le mercure dans le tube tombe jusqu'à un certain point, qui est de 28 pouces ou de 76 centimètres plus élevé que le niveau du mercure dans le vase *nn*. Évidemment la colonne de mercure est tenue en équilibre par la pression atmosphérique qui agit sur la surface du mercure.

Mais qu'est-ce qui se trouve au-dessus du mercure dans le tube du baromètre? Absolument rien qu'un espace parfaitement vide, nommé, d'après l'inventeur de cette expérience, le *vide de Torricelli* ou *chambre barométrique*.

Pour faire un bon baromètre, on ne doit pas prendre des tubes trop étroits : il faut qu'ils aient un calibre d'au moins 8 à 10 millimètres. Le verre et le mercure doivent être d'une pureté parfaite; l'espace vide ne doit absolument pas contenir d'air, parce que celui-ci, par sa tension, neutraliserait une partie de la pression atmosphérique. Pour faire disparaître complètement l'air, on fait, après avoir rempli le tube, chauffer ou bouillir le mercure.

104. L'observation démontre que le mercure d'un baromètre n'est pas, en tout temps et en tous lieux, à la même hauteur; d'où l'on conclut que la pression atmosphérique n'est pas toujours et partout la même.

On désigne les variations que le baromètre éprouve, par les mots : *monter et baisser*.

Lorsque, par exemple, un baromètre se trouve, au bord de la mer, à 76 centimètres, et que nous l'emportons sur une montagne, il ne sera plus tout à fait aussi haut. Il baissera d'autant plus, que le lieu où nous l'observons est plus élevé.

La raison en est facile à saisir. Du sommet de la montagne, la distance à la limite de l'atmosphère est évidemment plus petite que du bord de la mer, situé plus bas. La colonne d'air qui pèse à une certaine hauteur sur le baromètre est d'autant plus courte que la montagne est plus haute; sa pression doit donc être moindre.

Le baromètre devient de cette manière un instrument de grande valeur pour la détermination des hauteurs. On lui a donné une disposition appropriée aux voyages, et déjà il a suivi plus d'un naturaliste sur les sommets les plus élevés des Alpes, ainsi que dans les Cordillères et les Andes.

105. Indépendamment de la hauteur d'un lieu, il est encore d'autres causes qui influent sur l'état du baromètre et qui lui font quelquefois éprouver des variations subites. Des ouragans violents, des tremblements de terre et des orages, qui sont accompagnés de grands troubles dans l'équilibre de l'air, sont ordinairement annoncés par une forte baisse du baromètre.

Quand l'atmosphère contient beaucoup d'eau sous forme de vapeurs, ce qui a lieu par un temps chaud et serein, sa pression est encore augmentée par la force d'expansion de la vapeur : c'est pourquoi dans ces conditions le baromètre sera très-haut. Mais lorsque, par un refroidissement de l'atmosphère, ces vapeurs perdent leur force d'expansion, la pression de l'air diminue, et le baromètre tombe. Les vapeurs précipitées apparaissent bientôt sous forme de nuages et de pluie.

Comme le baromètre indique ces modifications beaucoup plus tôt que les nuages et la pluie, il peut en réalité prédire le temps et sert à cet usage dans beaucoup de maisons. On lui donne ordinairement la forme

représentée dans la fig. 106. La hauteur d'un baromètre se calcule à partir du niveau du mercure dans la branche du tube élargie en forme de poire.

106. L'atmosphère n'est pas également dense à toutes les hauteurs.

A proximité de la surface de la terre, elle est le plus dense, parce qu'ici les couches inférieures de l'air ont à supporter les couches supérieures.

Sur de très-hautes montagnes, la diminution de densité est déjà considérable. Si l'on emporte à une hauteur très-grande une bouteille remplie d'air et bien bouchée, le bouchon sautera. Le cœur chasse le sang avec une certaine force dans les vaisseaux extrêmement fins et ténus des parties extérieures de notre corps, qui supportent très bien cette force sous la pression atmosphérique ordinaire ; à des hauteurs de 24000 à 26000 pieds, où la pression atmosphérique sur la périphérie du corps est considérablement diminuée, ces vaisseaux déliés se rompent et le sang s'en échappe. A cette hauteur l'air n'est également plus assez dense pour la respiration.

107. La force élastique ou l'expansibilité de l'air nous donne un moyen de le raréfier dans un espace clos d'une manière si extraordinaire, qu'on peut presque le considérer comme vide d'air. Les appareils servant à cet usage se nomment pompes pneumatiques.

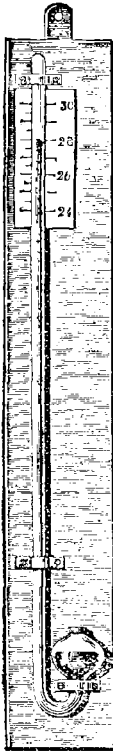


Fig. 106.

On comprend facilement que l'air enfermé dans l'espace A peut se répartir sur un espace double, triple et quadruple, et qu'il subit par conséquent une atténuation correspondante aussitôt qu'on retire le piston jusqu'à 2, 3 ou 4.

Figurons-nous un réservoir quelconque contenant de l'air et mis en communication avec l'espace A ; lorsque je retirerai le piston, l'air du réservoir s'étendra également et participera à l'atténuation. Il s'agit maintenant d'empêcher le retour de

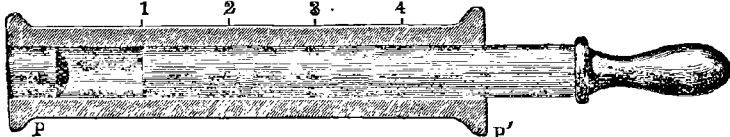


Fig. 107.

l'air dans le réservoir au moment où l'on pousse de nouveau le piston dans le cylindre. Voyons comment cela peut s'effectuer.

La fig. 108 nous montre la disposition d'une pompe ou d'une machine pneumatique. Nous voyons un globe en verre, qu'on nomme *réceptif* ou *cloche*; le bord a été enduit de suif, puis appliqué hermétiquement sur le

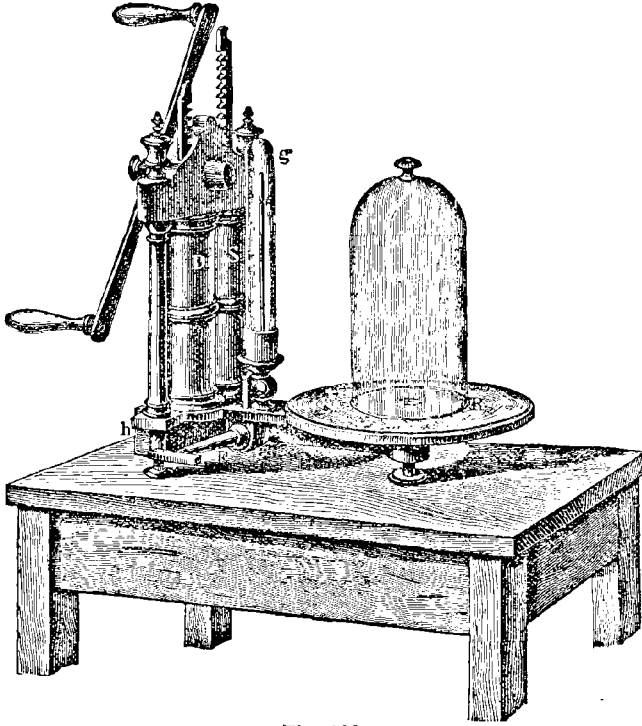


Fig. 108.

disque *R*, nommé *plateau* ou *platine* de la machine. Celui-ci possède, dans son centre, une ouverture qui fait, au moyen d'un canal, communiquer la cloche avec les deux cylindres *D* et *S*, dans chacun desquels, à l'aide de tiges à crémaillère, un piston est alternativement soulevé et abaissé de façon à produire la raréfaction de l'air. Mais à cet effet il faut le concours de robinets d'une disposition particulière ou de soupapes. Ces dernières sont des cloisons qui s'ouvrent d'elles-mêmes quand la pression de l'air agit sur elles d'un côté, tandis qu'elles se ferment quand la pression de l'air vient du côté opposé. On nomme la pompe pneumatique, selon le genre de disposition adopté pour sa construction, machine pneumatique à robinets ou machine pneumatique à soupapes.

Dans la fig. 109 nous voyons la coupe d'un cylindre, ou, comme on dit, du corps de pompe d'une machine pneumatique à robinet. Le robinet *g* est doublement percé. Le piston est sur le point de s'abaisser, et l'air qui se trouve au-dessous est chassé par un canal latéral. Si

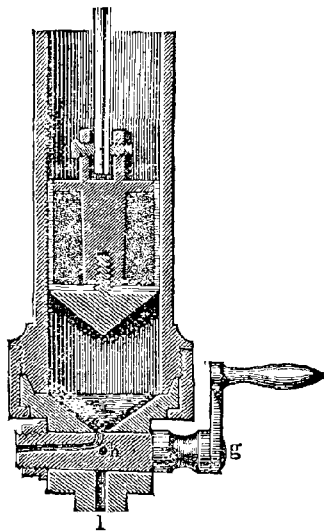


Fig. 109.

maintenant, par un quart de tour, on place le robinet de telle manière que l'ouverture *h* se trouve à l'extrémité inférieure du corps de pompe, la sortie latérale est fermée; par contre, on a établi la communication avec le canal *l* qui vient du récipient. Lorsque le piston s'élève, l'air entrera dans le corps de pompe et se raréfiera dans la cloche. Avant d'abaisser le piston, on rend au robinet sa position antérieure, de sorte que l'air trouve de nouveau latéralement une sortie dans l'atmosphère. En répétant ce jeu, on cherche à produire une raréfaction aussi forte que possible. Le degré de raréfaction se reconnaît à un baromètre tronqué, placé dans une éprouvette qui est en communication avec le canal.

Selon le but qu'on se propose, on trouve des machines de dispositions très-variables. Il y en a de différentes grandeurs; il en est à un et à deux corps de pompe, à robinets ou à soupapes, à corps de pompe de métal ou de verre. La machine pneumatique dessinée dans la fig. 108, est une machine à soupape à deux corps de pompe. Mais une machine pneumatique doit toujours être travaillée avec le plus grand soin, et maniée avec prudence et avec intelligence. Elle devient alors un des instruments de physique les plus importants, avec lequel on peut établir toute une série d'expériences aussi instructives qu'intéressantes, expériences d'autant plus étonnantes qu'elles servent à nous convaincre, de la manière la plus évidente, de l'existence d'une matière aériforme invisible, ainsi que de son influence universelle et puissante. Pour démontrer dans la pression atmosphérique une force immense, dont on serait loin de se douter, il suffit de faire jouer cet appareil et de rompre ainsi l'équilibre qui la tenait jusque-là mystérieusement cachée.

108. Parmi le grand nombre d'expériences remarquables que l'on peut faire avec la machine pneumatique, nous en citerons une, à cause de sa célébrité historique.

Otto de Guericke, à Magdebourg, l'inventeur de la pompe pneumatique, fit construire deux hémisphères creux, dont les bords s'adaptèrent exactement l'un sur l'autre, fig. 110. Après avoir enduit les bords de suif, on les plaça hermétiquement l'un contre l'autre, puis on y fit le vide au moyen d'un robinet; ces deux hémisphères, qui se séparaient d'eux-mêmes auparavant, adhéraient, par la pression de l'air, tellement l'un à l'autre, que plusieurs chevaux attelés aux anneaux opposés des hémisphères, furent incapables d'en rompre l'adhérence (fig. 111).

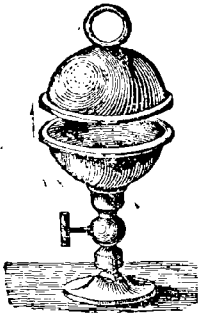


Fig. 110.

Cette belle expérience fut faite en 1650, à Ratisbonne, en présence de l'empereur Ferdinand III et de beaucoup d'autres princes, à l'admiration de tous les spectateurs.

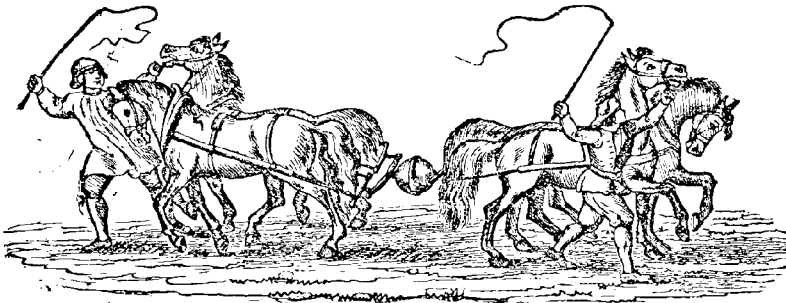


Fig. 111.

Au moyen de la machine pneumatique, on peut encore démontrer le poids de l'air, la pression atmosphérique, non-seulement par rapport au baromètre, mais en faisant crever par elle des vessies et des plateaux de verre; ensuite on prouve que tous les corps tombent également vite dans le vide, que les animaux ne peuvent y vivre, que des corps enflammés s'y éteignent, que le son ne s'y propage pas; enfin que des liquides s'évaporent d'autant plus vite et bouillent à une température d'autant plus basse, que la pression de l'air qui pèse sur eux est moins forte.

109. C'est sur la pression atmosphérique et sur la production du vide que reposent un grand nombre de phénomènes, et notamment celui de la respiration, de la succion à la mamelle et différents appareils très-importants, savoir les pompes aspirantes et la pompe à incendie.

En élargissant, au moyen de muscles spéciaux, la capacité de la poitrine, l'air s'y raréfie et, comme conséquence, l'air de l'atmosphère y entre,

c'est-à-dire, il y a inspiration. Lorsque, au contraire, la contraction des parois pectorales comprime l'air qui se trouve dans la poitrine, il en sort : c'est ce que nous nommons l'expiration.

Lorsqu'on plonge l'extrémité d'un tube, d'un tuyau de pipe ou d'un fétu de paille dans de l'eau, et qu'en suçant à l'autre extrémité on y raréfie l'air, l'eau s'élèvera dans ces tubes par la pression extérieure de l'air.

110. Si, au lieu de sucer avec la bouche, nous employons à cet usage un appareil approprié, nous obtenons la pompe. Celle-ci consiste en un réservoir *A* (fig. 112), qui est ordinairement une citerne située dans la terre; dans ce réservoir plonge le tube d'aspiration *B*, qui est fermé supérieurement par la soupape *C*. Au-dessus s'élève le corps de pompe *D*, avec le tuyau d'écoulement *E*. Dans le corps de pompe se meut, à l'aide de la tige *F*, un piston armé d'une soupape *H*.

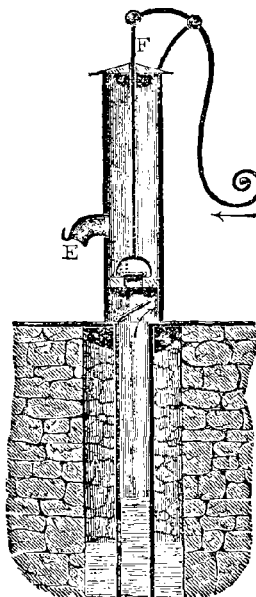


Fig. 112.

Lorsque le piston s'élève, il se forme sous lui un espace où l'air est raréfié; c'est pourquoi la soupape *H* se ferme, tandis que *C* s'ouvre et que l'eau monte par le tube d'aspiration jusque dans le corps de pompe. Lorsque le piston s'abaisse, la soupape *C* se ferme, et l'eau qui se trouve au-dessus élève la soupape *H* et entre par le piston dans la partie supérieure du corps de pompe, jusqu'à ce qu'elle ait atteint le tuyau d'écoulement par où elle s'échappe.

111. Peut-on, à l'aide d'une pompe aspirante semblable, élever l'eau à toutes les hauteurs voulues?

Cela ne se peut pas. D'abord, la pression atmosphérique ne peut pas élever l'eau plus haut qu'environ 32 pieds ou 10^m.3. Car nous savons qu'elle fait équilibre à une colonne de mercure de 76 centimètres, et comme l'eau est de 13,6 fois moins dense, il faut une colonne d'eau de 10^m.3 pour équilibrer la pression d'une colonne de mercure de 76 centimètres, ou le poids de l'atmosphère, puisque $13,6 \times 0,76 = 10,35$.

La première soupape doit donc se trouver tout au plus à une hauteur de 9 mètres au dessus du niveau du liquide. L'eau peut bien encore être élevée un peu dans le corps de pompe, mais pas considérablement, car la pompe serait difficile à faire mouvoir.

Par conséquent, lorsque l'eau doit être puisée à des profondeurs con-

sidérables ou élevée à une grande hauteur, on se sert de *pompes foulantes de construction particulière.*

112. La pompe à incendie doit ses effets à la tension que l'air éprouve par la compression. Toutes ses parties sont contenues dans une caisse-réservoir, qu'on tient constamment remplie d'eau. Dans le milieu se trouve un fort réservoir *a*, nommé le réservoir d'air, dans lequel le tuyau *b*

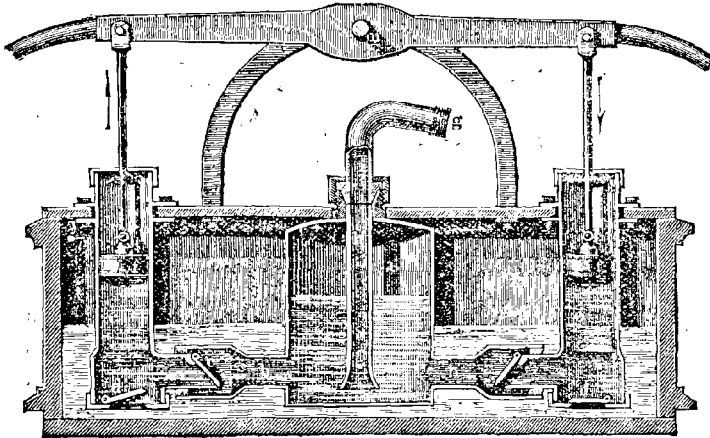


Fig. 113.

plonge presque jusqu'au fond. Ce tuyau se ferme en *g*, par un robinet, au commencement de l'action de la pompe. Au moyen des deux pompes *e e* on chasse alors de l'eau dans le réservoir d'air, et comme l'air ne peut s'en échapper, il est de plus en plus comprimé, au fur et à mesure que l'eau y pénètre. Lorsque la compression est arrivée à un certain degré, on ouvre le robinet *g*, et l'air comprimé dans le réservoir d'air refoule l'eau qui s'échappe en un jet violent par l'ouverture du tuyau. Mais comme les pompiers continuent à pomper, on entretient de cette manière un jet continu.

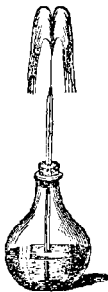


Fig. 114.

113. Lorsqu'on remplit un verre jusqu'au bord avec de l'eau, qu'on le recouvre d'un papier et qu'on retourne le verre, l'eau ne se

répand pas, la pression de l'air, qui agit sur la face inférieure du papier, empêchant le liquide de tomber. Le papier ne sert que pour retourner le verre et pour empêcher que l'eau ne s'écoule sur les côtés et qu'à sa place des bulles d'air ne pénètrent dans le verre. Si l'ouverture extérieure est assez petite pour qu'on n'ait pas à craindre cet écoulement, comme dans le siphon, le papier n'est plus nécessaire. Le *siphon* est un vase en forme de tube (fig. 115 et 116), un peu plus étroit supérieurement et inférieurement, et ouvert à ses deux extrémités. Quand on le plonge dans un liquide, il se



Fig. 115.



Fig. 116.

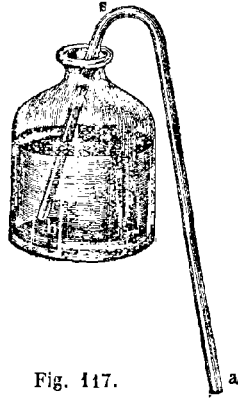


Fig. 117.

remplit, et quand on ferme l'ouverture supérieure avec le pouce, on peut soulever le siphon sans que le liquide qui s'y trouve s'en écoule.

Le siphon (fig. 117), est un tube courbé $a\ s\ b$, dont les branches ont une longueur inégale. Lorsque la branche la plus courte plonge dans un liquide et que tout le tube en est rempli, ce liquide s'écoule constamment par l'extrémité a de la plus longue branche, parce que cette extrémité est plus basse que b . On peut de cette manière vider un vase avec facilité. L'effet du siphon s'explique aisément. La colonne d'eau $s\ a$ d'un côté, de l'autre côté la colonne de s jusqu'au niveau du liquide dans le vase, ont, en vertu de leur pesanteur, une tendance à tomber. Mais la pesanteur des colonnes d'eau dans les deux branches trouve une résistance dans la pression atmosphérique, qui agit d'un côté sur l'ouverture a , de l'autre côté sur le niveau d'eau dans le vase, et empêche la formation en s , d'un vide qui se formerait nécessairement si les deux colonnes d'eau s'écoulaient des deux côtés. Comme la pression atmosphérique est aussi forte d'un côté que de l'autre, il y aurait équilibre parfait si les colonnes d'eau dans les deux branches avaient une égale hauteur, si l'ouverture a se trouvait à fleur du niveau d'eau dans le vase. Mais du moment que a est plus profond, la colonne d'eau dans la branche $s\ a$ acquiert la prépondé-

rance, et à mesure que l'eau s'écoule, la pression de l'air en chasse de nouveau dans le tube, de telle sorte que l'écoulement en *a* dure jusqu'à ce que le niveau du liquide soit parvenu à la hauteur de l'ouverture *a*, ou que l'ouverture *b* ne plonge plus dans le liquide.

Pour mettre le siphon en action, on plonge ordinairement la branche la plus courte dans le liquide, et on fait le vide dans la plus longue branche en aspirant avec la bouche. On peut aussi retourner le siphon, le remplir de liquide, fermer momentanément les deux orifices, et n'ouvrir ceux-ci que quand le siphon est convenablement placé.

IV. Le Son.

114. L'expérience de tous les jours démontre que toutes les sensations perçues par l'organe de l'ouïe et que nous désignons par *sons*, *tons*, *détonnations* ou *bruits*, résultent de ce qu'une cause quelconque a mis les molécules d'un corps dans un mouvement particulier de *vibration*, que nous nommons *oscillations*. En effet, on peut voir à l'œil nu les vibrations d'une corde qui résonne; lorsqu'on frappe sur une cloche un peu grande, et qu'on applique tout doucement le bout des doigts contre son bord, on sent distinctement que le son produit est accompagné d'une vibration intérieure de la cloche, qui est tout à fait immobile extérieurement. L'expérience suivante est encore plus frappante. Dans un étau disposé à

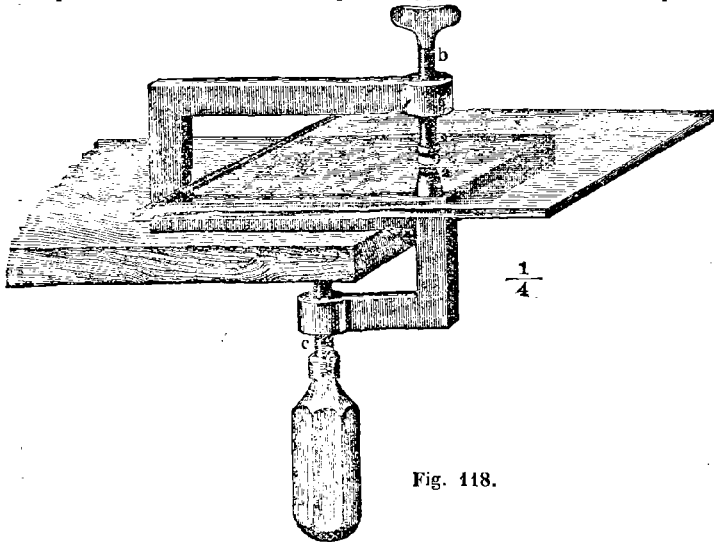


Fig. 118.

cette fin (fig. 118), on serre un plateau de verre; on le recouvre ensuite

de sable très-fin, on frotte le bord du plateau avec un archet, de manière à produire un son clair. Lorsque, pendant ce temps, on regarde attentivement sur le plateau, on voit les grains de sable sautiller de telle sorte, que l'on reconnaît distinctement que ce n'est pas la vibration extérieure du plateau qui jette les grains de sable quelquefois à un pouce de hauteur, mais un mouvement moléculaire qui se passe à l'intérieur.

Nous considérons donc avec raison comme cause du son les oscillations de molécules matérielles.

115. Ajoutons-y l'expérience suivante : La fig. 119 nous montre un appareil nommé réveil, où un marteau frappe pendant 5 à 10 minutes contre les parois intérieures de la cloche. On place ce réveil sur le plateau d'une machine pneumatique, et on le fait marcher. Le son clair de la cloche s'amortit déjà quelque peu, lorsque nous recouvrons le réveil d'une cloche en verre. Mais lorsque au moyen de la machine nous commençons à enlever l'air de la cloche, le son devient de plus en plus faible à mesure que l'air se raréfie, et à la fin l'oreille ne perçoit plus aucun son, alors que l'œil voit encore travailler activement le marteau. Mais lorsqu'on laisse rentrer insensiblement l'air dans la cloche de verre, le son s'éclaircit de plus en plus, jusqu'à ce qu'il ait recouvré toute sa force.

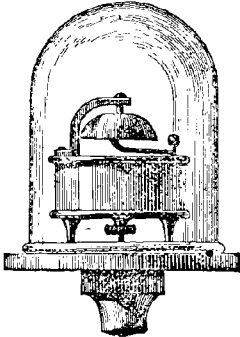


Fig. 119.

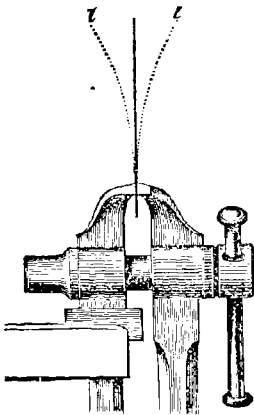


Fig. 120..

Cela nous apprend que l'air prend une part essentielle à la propagation du son, qu'il le transmet effectivement depuis le corps sonore jusqu'à l'oreille, et que, dans le vide, le son ne se propage pas. Un examen plus attentif nous enseigne en outre, que dans ce cas le corps sonore communique également à l'air des oscillations qui, sous forme de condensations et de raréfactions alternatives, se propagent en ondulant jusqu'à l'oreille. Une violente détonation nous donne un exemple manifeste de ces vibrations de l'air, car elles suffisent quelquefois pour faire trembler ou pour briser les vitres de nos fenêtres.

Nous faisons par conséquent précéder l'étude des phénomènes du son de quelques considérations sur l'oscillation et l'ondulation.

116. Oscillation ou vibration. Dans l'étude du mouvement du pen-

dule, il a déjà été question d'oscillations. Mais dans l'oscillation du pendule la position mutuelle de ses molécules reste invariable. Lorsque, par contre, on serre solidement une lame d'acier par une extrémité (fig. 120), qu'on la plie hors de son équilibre primitif en l et qu'on l'abandonne à elle-même, il se produit des oscillations d'une autre nature que dans le pendule. La même chose a lieu sur la corde tendue $a b$, fixée par ses deux extrémités (fig. 121). Dans ces deux cas, toutes les molécules du

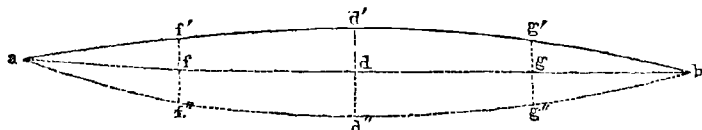


Fig. 121.

corps qui oscille entrent simultanément en mouvement, passent simultanément par la position d'équilibre, atteignent simultanément la limite de leur oscillation et exécutent simultanément le chemin de retour. Les oscillations de cette espèce se nomment *oscillations fixes*.

Mais lorsque les mouvements des différentes molécules sont de nature à faire progresser leurs oscillations d'une molécule à l'autre, de telle sorte que chaque molécule fait les mêmes oscillations que la précédente, avec la seule différence qu'elle les fait plus *tard*, ce sont des *oscillations progressives*, qui produisent des *ondes*. Des oscillations de cette nature se produisent, lorsqu'on frappe sur une grosse corde fortement tendue, ou lorsque, sur la surface d'une eau tranquille, on produit des ondes. C'est ce mouvement qui a donné aux mouvements de même nature le nom général d'*ondulations*.

117. Ondulation. Il est impossible de percevoir avec l'œil les ondes sonores qui se propagent dans l'air, car celui-ci est un corps si transparent, que des condensations ou des raréfactions locales ne peuvent s'y distinguer. Tout ce que nous savons sur les lois régulières des ondulations n'est pas tiré de l'observation directe, mais on les a d'abord supposées, puis on en a tiré des conséquences que les phénomènes sont venus confirmer.

Par contre, les ondes de l'eau nous offrent un moyen excellent pour étudier l'ondulation. Comme chacun le sait, les ondes de l'eau se répandent du point où on les a provoquées, en cercles de plus en plus grands, d'une manière uniforme sur toute la surface de l'eau. Ce sont les particules d'eau de plus en plus éloignées qui sont insensiblement mises en mouvement. Les ondes d'eau consistent en élévations, dites ondes sail-

lantes, et en dépressions, dites ondes déprimées. Toutes les ondes produites par le choc d'une pierre se nomment un *système d'ondes*.

Du premier abord, il nous paraît que l'eau s'étend avec rapidité au dehors tout autour du centre d'ébranlement. Un examen plus attentif nous démontre qu'il n'en est pas ainsi. Car si, par exemple, un morceau de bois ou une feuille flottait sur une nappe d'eau tranquille, et si l'on y provoquait des ondes, ces corps flottants ne seraient nullement entraînés par elles, ce qui devrait avoir lieu si toute la masse d'eau d'une onde continuait à couler. On voit au contraire une feuille qui surnage se maintenir constamment à sa place primitive, mais elle subit un balancement parce que les cercles ondulés passent sous elle; car la vraie nature du mouvement d'ondulation consiste en ce que chaque molécule d'eau fait un petit mouvement circulaire, puis retourne à sa place, pendant que la molécule la plus rapprochée, la seconde, la troisième et les suivantes, exécutent le même mouvement et produisent dans leur ensemble cette montée et cette descente alternatives, qui représentent le mouvement d'ondulation. Nous pouvons encore recourir à une autre image pour représenter la progression des ondes, tandis que les molécules restent à leur place, une image fréquemment employée par les poètes, celle d'un champ de blé. Lorsque le vent passe uniformément sur un champ de blé, nous embrassons d'un coup d'œil une certaine étendue, et nous remarquons sur les épis des ondulations qui ont beaucoup de ressemblance avec celles de l'eau. Quand le vent a fait fléchir les épis des premières rangées, ils se relèvent par leur élasticité, alors que les rangées suivantes fléchissent, et ainsi de suite. Chaque épi nous représente ici une molécule d'eau faisant un mouvement circulaire sur place.

118. Interférence. Des phénomènes particuliers ont lieu, lorsque deux systèmes d'ondes se rencontrent, par exemple lorsque deux pierres tombent dans l'eau à quelque distance l'une de l'autre. Lorsque les deux systèmes d'ondes se touchent, ou bien les ondes saillantes de l'un coïncident avec les ondes saillantes de l'autre, ou bien la même chose a lieu pour les ondes déprimées, de telle sorte qu'il en résulte des élévations et des dépressions plus fortes; ou bien une onde saillante d'un système coïncide avec une onde déprimée de l'autre. Quand, comme dans ce dernier cas, les ondes sont d'espèce différente et égales entre elles, il ne peut y avoir au point de réunion ni saillie ni dépression; les deux ondes s'égalisent, et l'ondulation est suspendue. Ces points mis en repos par la rencontre ou, comme on dit, par l'interférence de deux systèmes, se nomment nœuds, et plusieurs d'entre eux, les uns à côté des autres, forment des lignes nodales non vibrantes.

Il faut bien considérer que dans l'interférence de deux systèmes d'ondes, les modifications que nous venons de décrire ne se passent qu'en certains endroits, mais qu'en général chaque système continue à se répandre comme si l'autre n'existait pas. La même chose a lieu, lorsque trois ou un plus grand nombre de systèmes se rencontrent, quoique, dans ce cas, l'œil puisse difficilement poursuivre les différents systèmes. On s'explique de cette manière comment nous pouvons simultanément percevoir et distinguer les sons les plus variés, dont les ondes parviennent à notre oreille.

119. Réflexion et réfraction. Lorsque des ondes, en se propageant, rencontrent un objet solide, par exemple, un mur, non-seulement leur propagation ultérieure est empêchée, mais elles sont réfléchies, et cela de la même manière que si ces ondes provenaient d'un centre situé derrière le mur à la même distance qui existe entre le centre d'où émanaient les ondes primitives et le devant du mur. Si, dans ce cas, les ondes directes ense propageant, par exemple, sur une corde, se rencontrent avec les ondes réfléchies, il peut en résulter des nœuds qui divisent la corde en plusieurs ondes fixes. Supposons que la nappe d'eau, que nous avons choisie pour y observer le mouvement des ondes, soit partagée en deux parties par une cloison, mais qu'il y ait cependant quelque part une lacune pour que la communication de la nappe d'eau ne soit pas interrompue. Si dans la première partie nous provoquons des ondes, celles-ci s'étendront naturellement jusqu'à la cloison, où elles seront renvoyées, à l'exception de cette partie des ondes arrivantes, qui passe par la lacune. Mais ici il se produit cette particularité qu'à chaque bord de la lacune il se forme un nouveau système d'ondes, à la vérité plus faible, qui s'étend circulairement. Ce phénomène, désigné sous le nom de *réfraction* des ondes, nous fait comprendre comment nous pouvons encore entendre des sons, là où les ondes sonores ne peuvent plus parvenir directement à l'oreille.

120. Les mouvements des ondes sont le mieux marqués au moment et à l'endroit où l'ébranlement les a provoqués. A chaque moment, ils deviennent plus petits et plus faibles, à mesure qu'ils s'éloignent de leur point de départ. Le son diminue donc de force à mesure que nous nous éloignons de l'endroit où il a été produit. Cette diminution a lieu en raison directe du carré de la distance.

Les ondes d'une corde qui oscille ne s'étendent que dans la direction de son axe longitudinal; celles de l'eau s'étendent du point d'ébranlement en cercles de plus en plus grands sur la surface horizontale de la nappe d'eau. Mais, pour nous figurer les oscillations de l'air, nous devons nous servir d'une autre image.

Figurons-nous le point, où le son se produit, situé au milieu d'un nombre

infini de couches d'air, qui l'entourent sous forme de sphères creuses devenant de plus en plus grandes. Le son s'y propage parce que toutes ces couches sphériques entrent successivement en vibrations de l'intérieur à l'extérieur. Les ondulations résultent de ce que les diverses couches d'air se rapprochent et s'éloignent alternativement les unes des autres, d'où naissent, aux endroits correspondants, tantôt des condensations, tantôt des raréfactions. D'après cela, le son se répand, à partir du point de sa naissance, dans toutes les directions. Il est impossible de représenter par un dessin ce phénomène, qui se passe dans l'espace, et nous n'avons recours à la fig. 122 que pour montrer comment ces ondes condensées et raréfiées se produisent et se propagent. Ce dessin nous représente un tube ouvert, à l'orifice duquel se trouve un piston *P*, qui, comme dans I, II et III, peut être successivement avancé ou retiré. Les barres représentent les couches d'air, qui sont primitivement toutes en repos et à égale distance les unes des autres, comme dans I. Si l'on avance le piston, comme le montre II, il se fera devant lui une

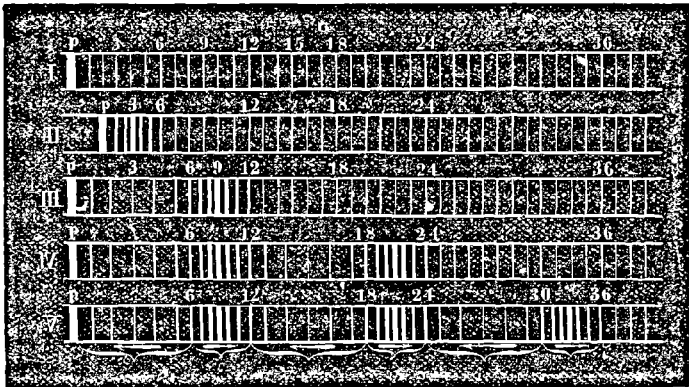


Fig. 122.

condensation, et quand on le retirera il y aura raréfaction de l'air, comme cela se voit en III. Plus loin, IV nous montre le moment où, après avoir avancé et retiré le piston deux fois, il s'est produit deux ondes; et dans V un triple mouvement du piston a provoqué trois ondes. Les flèches montrent la direction des couches d'air qui sont en mouvement : aux endroits de condensation, elles vont au dehors; dans les endroits de raréfaction, elles se dirigent vers le piston.

Des lignes droites partant du centre des ondes à travers les cercles d'eau, ou à travers les sphères de l'air en vibration, se nomment les

rayons des ondes, et l'on parle, en conséquence, de rayons sonores qui s'étendent en ligne droite.

Les vibrations sonores varient selon la longueur et l'amplitude des oscillations primitives, ainsi que selon leur vitesse, c'est-à-dire, selon le nombre d'oscillations qui ont lieu en un temps donné. Ces variations exercent une influence marquée sur les phénomènes résultant du mouvement des ondes.

Vu la grande importance des mouvements des ondes sur les phénomènes physiques les plus remarquables, il ne manque pas d'appareils destinés à faciliter, par la voie expérimentale, l'intelligence de ces mouvements particuliers. Abstraction faite des appareils de grand prix, parmi lesquels la machine d'ondulations de Fessel est sans doute le plus parfait, le disque d'ondulations de Müller mérite surtout d'être recommandé.

121. Son, chaleur et lumière. Quelque différente que soit la manière dont ces trois phénomènes naturels agissent sur nos sens, ils ont cependant quelques analogies extraordinaires, qui feraient supposer une certaine communauté d'origine.

C'est avec la même régularité que les rayons sonores, calorifiques et lumineux se répandent d'un point dans toutes les directions, qu'ils diminuent de force en raison du carré de leur distance; ils sont également réfléchis et réfractés de la même manière. La conclusion que la chaleur et la lumière se font également par des ondulations, pourrait en être déduite presque immédiatement. Mais tandis que pour le son nous pouvons facilement prouver que les corps solides oscillent et transmettent leurs oscillations à l'air, la chaleur et la lumière nous offrent le caractère particulier de se répandre à travers des espaces totalement vides d'air. Le soleil envoie ses rayons bienfaisants à travers l'immensité de l'espace, qui est vide : quel peut être là le véhicule des oscillations ?

Les physiciens supposent qu'il existe dans l'espace universel une matière éminemment subtile et élastique, à laquelle on a donné le nom d'*éther*. Cette matière éthérée est en elle-même tout à fait imperceptible à nos sens, puisqu'elle n'est pas même soumise aux lois de la pesanteur, qu'elle est impondérable et n'offre de résistance nulle part. Mais, mise en oscillations, elle serait le porteur et le propagateur de la lumière et de la chaleur.

122. En ce qui concerne maintenant les phénomènes du son en particulier, ce sont, dans les cordes, les cloches, les diapasons, les corps eux-mêmes qui résonnent, et l'air n'est que l'intermédiaire du son. Dans les instruments à vent et dans la voix humaine, ce sont, au contraire, des colonnes d'air qui oscillent et qui produisent elles-mêmes le son.

D'une manière générale on peut présenter les observations suivantes :

participe à l'oscillation et transmet ainsi plus facilement le son à l'air, tout en le renforçant. Une telle disposition se nomme la table d'harmonie.

124. Remarquons maintenant un ton qui a un certain nombre de vibrations et nommons-le, par exemple, do; un ton qui, dans le même espace de temps, fera exactement un nombre double de vibrations, se nommera son octave supérieure, et celui qui en fera exactement la moitié, octave inférieure de do. Entre chaque ton et son octave il y a encore six autres tons, dont voici les noms et les rapports d'oscillations.

Ton fondam.	Seconde.	Tierce.	Quarte.	Quinta.	Sixte.	Septième.	Octave.
Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
1	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{9}{16}$	2

Ces rapports des nombres de vibrations sont les mêmes pour toutes les octaves et pour tous les tons, de quelque instrument qu'ils proviennent. Si le do du tuyau d'orgue de 16 pieds fait en une seconde 32 vibrations simples ou 16 doubles, son octave supérieure doit en faire 64, sa tierce 40, sa quinte 48, etc.

Les rapports entre les chiffres pour chaque ton successif de cette rangée ne sont pas égaux. La fraction en dessous de chaque note indique de combien le nombre des vibrations de la note qui suit est plus grand que celui de la note précédente.

Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{15}$	

Il faut comprendre cela ainsi; que ré fera 1 $\frac{1}{9}$ de fois le nombre de vibrations que do a faites, que mi fera 1 $\frac{1}{15}$ fois les vibrations de ré, fa 1 $\frac{4}{5}$ fois autant que mi, etc.

Les intervalles de do à ré, de ré à mi, de fa à sol, de sol à la, de la à si, se nomment des tons entiers et comportent $\frac{1}{9}$ ou $\frac{1}{15}$. Par contre, les intervalles de mi à fa, et de si à do, ne sont qu'à peu près la moitié des précédents, c'est-à-dire $\frac{1}{15}$, et se nomment pour cette raison des demi-tons. Mais si, dans les intervalles, tels qu'ils ont été donnés dans la rangée précédente, on voulait partir d'un ton quelconque, il faudrait intercaler encore des demi-tons entre do et ré, ré et mi, fa et sol, sol et la, la et si. On désigne ces notes par le nom de dièses de la note qui la précède.

Le ton fondamental forme avec son octave, ou avec sa tierce ou sa quinte, une consonnance, et avec tous ensemble un accord; avec la seconde ou la septième, il forme une dissonance.

125. Lorsqu'une corde tendue est soutenue dans son milieu par un chevalet et qu'on frotte avec l'archet contre une des moitiés, l'autre entre également en vibrations. On peut s'en assurer en plaçant, sur cette dernière, de petits morceaux de papier repliés qui sont jetés bas par les oscillations.

Lorsqu'on soutient une corde par le chevalet dans un tiers de sa longueur, et qu'on recouvre les deux tiers restants de petits cavaliers en papier, au frottement du premier tiers de la corde, tous les papiers seront jetés bas, à l'exception de celui qui occupe juste le milieu de ces deux tiers. Ce point ne prend donc pas part aux vibrations de la corde et se nomme un *nœud*. Quand on soutient la corde au quart de sa longueur, elle se partage en quatre parties vibrantes et deux nœuds non vibrants.

Dans des disques, des plaques, des cloches qui résonnent, toutes les parties ne vibrent pas non plus. On remarque cela, lorsqu'on saupoudre des plateaux de verre avec du sable fin, qu'on les fixe par un point et qu'on frotte avec l'archet contre le bord. (Voir fig. 118.) Les parties vibrantes jettent le sable sur les parties immobiles. Celles-ci forment des lignes de position mutuelle variable qu'on nomme *lignes nodales*.

Selon que l'on prend des plateaux de verre carrés ou ronds, selon l'endroit où on le soutient, selon l'endroit et la force du frottement, on

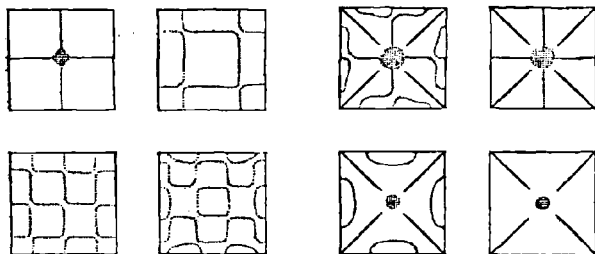


Fig. 124.

Fig. 125.

peut obtenir des lignes nodales donnant lieu aux figures les plus diverses, mais d'une grande symétrie de forme. Voir les fig. 124 et 125.

126. Le son se propage dans toutes les directions; une particule vibrante communiquant sa vibration à la particule voisine. Cela se fait avec une grande rapidité, car on a observé que le son parcourt, dans l'air d'une qualité ordinaire, un espace de 340 mètres 88 centimètres en une seconde. Mais cette vitesse est faible en présence de celle de la lumière, ainsi qu'on s'en assure lorsqu'on tire à quelque distance un coup de fusil. Nous voyons d'abord le feu et la fumée, et quelque temps après, seulement, nous entendons le son. Nous voyons l'éclair avant que nous entendions le tonnerre, qui se produit cependant en même temps, et nous jugeons avec raison, par le temps qui s'écoule entre les deux, de la distance de l'orage.

Chose remarquable, le son se propage plus vite par des corps denses que par des corps moins denses. Tout le monde sait que le bruit du

canon, les battues des pieds de chevaux, etc., s'entendent à des distances beaucoup plus grandes, lorsqu'on applique l'oreille contre terre, que dans l'air libre. L'eau aussi propage le son fort loin, et les poissons entendent le son d'une cloche ou d'un sifflet qui les appelle au repas.

A des hauteurs considérables, où l'air est moins dense, le son de la voix est plus faible et la détonation d'un fusil ne s'entend pas à une grande distance. Nous avons déjà dit que les vibrations des corps sonores placés dans le vide ne se transmettaient pas et ne pouvaient par conséquent se faire entendre.

127. Lorsque des rayons sonores qui se propagent à travers l'air dans une direction droite tombent sur des corps plus denses, leur direction est plus ou moins modifiée. Ils peuvent même, en rencontrant un obstacle solide, être réfléchis, comme les ondulations sont réfléchies du rivage. Le phénomène du son réfléchi se nomme *écho*. Pour entendre un écho monosyllabique, il faut être distant d'au moins 60 pieds, et, pour un écho de plusieurs syllabes, de 116 à 120 pieds de la surface qui réfléchit le son.

Pour propager le son plus loin, surtout la parole, on se sert de tuyaux de communication. Ce sont des tubes d'un faible diamètre, qui vont, par exemple, d'un étage à un autre, ou de la corbeille du mât jusqu'au pied de celui-ci. Lorsqu'on parle dans une ouverture, les rayons sonores, empêchés de s'élargir, parviennent à l'oreille qui se trouve à l'autre ouverture.

Le portevoix est de forme conique et rassemble également les ondes sonores, qui sont alors renvoyées avec une force particulière dans une seule direction. Un instrument opposé, c'est le cornet acoustique, dont l'ouverture large rassemble les ondes sonores pour les transmettre à l'oreille.

V. La Chaleur ou le Calorique.

128. Différentes causes communiquent à la matière des états que nous qualifions de brûlant, chaud ou froid. Ces états ne sont pas réciproquement opposés l'un à l'autre; ils ne sont qu'un degré différent d'un phénomène que nous nommons *chaleur*, et qui, indépendamment de son action connue sur nos sens, exerce toujours une influence sur l'étendue ou le volume des corps.

Si nous recherchons les causes de la chaleur, nous en trouverons plusieurs. Elle se montre lorsque deux corps frottent, heurtent ou frappent l'un contre l'autre. C'est un fait connu que les sauvages se procurent du feu en frottant deux pièces de bois l'une contre l'autre, que

le forgeron peut battre un clou au point de le faire rougir. De même, en tournant ou en forant, surtout le métal, on développe une chaleur considérable. Lorsqu'on amène des corps rapidement à une densité plus grande, il y a aussi développement considérable de chaleur, par exemple, par une compression rapide et violente de l'air, ou lorsqu'on éteint la chaux vive.

Une autre source riche et abondante de chaleur réside dans les combinaisons chimiques qui se font incessamment dans le domaine de la nature. Les plus connues d'entre celles-ci sont les combustions, que nous employons souvent pour nous procurer de la chaleur. Dans le corps de l'homme, la décomposition chimique des aliments est une source abondante de chaleur. L'électricité provoque également une chaleur extrême : les effets de l'éclair n'en rendent que trop souvent un témoignage éclatant.

Outre cela, la terre possède en elle-même une certaine chaleur, qui se fait sentir, à la vérité, très-peu à sa surface, mais qui devient beaucoup plus sensible quand on y pénètre à quelque profondeur, de sorte que nous avons des raisons de supposer que dans l'intérieur de la terre il règne une chaleur très-élevée.

Enfin, nous considérons comme la cause principale de la chaleur sensible à la surface de la terre le soleil, qui nous envoie chaque jour, à côté de ses rayons lumineux, des rayons de chaleur, sans lesquels la terre aurait un aspect tout autre.

Pendant, quelle que soit la source de la chaleur, elle présente dans sa manière d'agir constamment les mêmes phénomènes.

129. Dilatation par la chaleur. Un des phénomènes occasionnés par la chaleur et qui saute le plus aux yeux, c'est la dilatation des corps. Nous avons déjà vu plus haut (§ 25) que l'état solide, liquide ou gazeux de la matière dépend exclusivement de l'influence que la chaleur exerce sur elle.

Des exemples de cette dilatation sont faciles à trouver. Qu'on choisisse une sphère métallique et un anneau dont l'ouverture est juste assez large pour que la sphère puisse le traverser. Lorsqu'on chauffe la sphère, on peut la placer sur l'anneau, parce qu'elle ne pourra plus passer à cause de la dilatation qu'elle a acquise. Lorsqu'elle aura reposé quelque temps sur l'anneau, son volume diminuera par le refroidissement et elle traversera de nouveau l'anneau.

Qu'on remplisse un vase exactement jusqu'à son bord d'un liquide, et qu'on chauffe insensiblement ce liquide : il débordera bientôt par suite de sa dilatation.

Prenez une vessie déprimée qui contienne encore un peu d'air, fermez-en

bien l'ouverture, exposez-la à la chaleur, et bientôt elle prendra, par suite de la dilatation de l'air qui y est enfermé, la même forme que si on l'avait remplie par insufflation.

130. La dilatation des corps fournit un moyen précieux pour comparer les effets de la chaleur, et partant l'élévation de celle-ci. On nomme *température* l'état actuel de chaleur sensible dans un corps, et l'instrument servant à mesurer les températures se nomme *thermomètre*.

Le thermomètre a, dans sa disposition, comme d'autres instruments très-importants, tels que le pendule et le baromètre, l'avantage d'une grande simplicité.

Pour le construire, on choisit un tube de verre d'un calibre égal sur tous ses points, et dont l'ouverture ait à peu près l'épaisseur d'une épingle. À l'une de ses extrémités on souffle une petite boule en verre, qu'on remplit ensuite de mercure pur.

Lorsqu'on chauffe alors le mercure, il se dilate et occupe tout l'espace du tube, qui a une longueur de 15 à 25 centimètres. Lorsque le mercure est sur le point de s'échapper de l'ouverture supérieure, on ferme celle-ci à la lampe; de sorte que le tube ne contient plus d'air, mais seulement du mercure, qui, par le refroidissement, se contracte en un plus petit espace, de manière à n'occuper que la troisième ou la quatrième partie du tube.

Lorsqu'on plonge le tube ainsi préparé dans de la glace fondante, l'extrémité de la colonne de mercure occupera un certain point qu'on désigne exactement par une marque sur le tube. Après cela, on met le thermomètre pendant quelque temps dans de l'eau bouillante, et on marque également le point jusqu'où monte la colonne de mercure.

Chaque fois qu'on plongera de nouveau le thermomètre dans la glace fondante ou dans l'eau bouillante, le mercure occupera exactement les points marqués: il résulte de cela qu'un corps à une même température occupe toujours le même espace, et cet espace est d'autant plus petit que sa température est plus basse.

Le point où le mercure descend lorsque le thermomètre est plongé dans la glace fondante, est marqué d'un zéro et se nomme le *point zéro* ou *point de la glace fondante*. Le point où monte le mercure lorsque le thermomètre est plongé dans l'eau bouillante, se nomme *point d'ébullition*.

Lorsque nous plaçons le thermomètre dans un milieu quelconqué, nous jugeons, à l'aide du point que le mercure occupe, de la température de ce milieu. Nous la nommons élevée quand le mercure se rapproche du point d'ébullition, et nous la nommons basse lorsqu'il se rapproche du point zéro.

Mais, pour désigner plus exactement ces déterminations, la distance

entre les deux points nommés est divisée en un nombre de parties égales qu'on nomme degrés. On continue ce partage, même au delà du point zéro et du point d'ébullition. Les degrés au-dessus du point zéro se nomment degrés de chaleur et se désignent par +, tandis que ceux sous le point zéro se nomment degrés de froid et sont marqués du signe —.

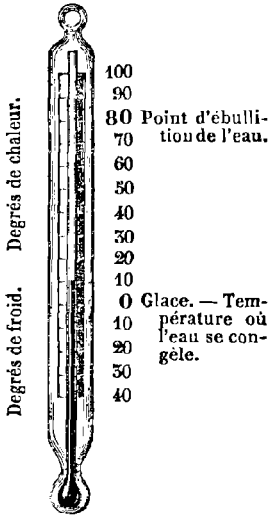


Fig. 126.

est divisée en un nombre de parties égales qu'on nomme degrés. On continue ce partage, même au delà du point zéro et du point d'ébullition. Les degrés au-dessus du point zéro se nomment degrés de chaleur et se désignent par +, tandis que ceux sous le point zéro se nomment degrés de froid et sont marqués du signe —.

131. Dans la plupart des thermomètres en usage en Allemagne, la distance entre le point zéro et le point d'ébullition (fig. 126) est partagée en 80 parties égales. Cette division a été faite en premier lieu par Réaumur, et le thermomètre ainsi partagé porte son nom. En France et dans les ouvrages scientifiques, on se sert, par contre, presque toujours du thermomètre centésimal de Celsius, où le point d'ébullition est marqué de 100. En Angleterre, Fahrenheit a adopté une tout autre division. Le tableau suivant donnera plus clairement une comparaison de ces différentes divisions.

DEGRÉS CELSIUS.	DEGRÉS RÉAUMUR.	DEGRÉS FAHRENHEIT.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	31
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

Comme on le voit, 5 degrés du thermomètre centigrade équivalent à 4° de celui, à échelle de 80. Pour éviter des erreurs, on désigne ordinairement, dans l'indication des températures, le thermomètre dont on s'est servi. C'est ainsi, par exemple, que + 15° R. signifie 15 degrés de chaleur d'après Réaumur; ou — 16° C. signifie 16 degrés de froid d'après Celsius.

Formules pour convertir les degrés Réaumur en degrés centigrades ou en degrés Fahrenheit, et réciproquement :

n = le nombre de degrés :

$n^{\circ} R = \frac{5}{4} n^{\circ} C = (\frac{9}{5} n + 32)^{\circ} \text{ Fahr.}$

$n^{\circ} C = \frac{4}{5} n^{\circ} R = (\frac{9}{5} n + 32)^{\circ} \text{ Fahr.}$

$n^{\circ} F = \frac{4}{9} (n - 32)^{\circ} R = \frac{5}{9} (n - 32)^{\circ} \text{ Cels.}$

132. Nous ajoutons, à titre de renseignement intéressant, quelques températures :

	DEGRÉS RÉAUMUR.	DEGRÉS CELSIUS.
Température où l'alcool se congèle.....	— 72	— 90
» où le mercure se congèle.....	— 32	— 40
Froid des régions polaires.....	— 28 à 32	— 56 à 40
» d'hiver rigoureux.....	— 10 à 16	— 12 à 20
» » ordinaire.....	— 5 à 10	— 6 à 12
Température où l'eau se congèle.....	0	0
Densité la plus grande de l'eau.....	+ 3.1	+ 4
Chaleur animale des poissons... } dépend	12 à 20	15 à 23
» » des amphibiés. } de leur milieu.	12 à 24	15 à 50
Température moyenne à Francfort-s/Mein.....	7	9
» de chambre.....	16	20
» ordinaire d'été.....	15 à 20	20 à 23
Chaleur d'été.....	19 à 28	24 à 56
Température moyenne à l'équateur.....	23	29
Chaleur animale de l'homme.....	29	37
Point d'ébullition de l'éther sulfurique.....	28	35
Chaleur des oiseaux.....	34	42
Point de fusion de la cire.....	54	68
Inflammation du phosphore.....	60	75
Point d'ébullition de l'alcool.....	62	78
» » de l'eau.....	80	100
» de fusion du soufre.....	87	109
» » du plomb.....	267	334
» d'ébullition de l'acide sulfurique.....	260	326
» » du mercure.....	288	360
» de fusion de l'argent.....	800	1000
» » du fer de fonte.....	980	1200
» » de l'or.....	1000	1230
» » du fer en barre.....	1280	1600

Un fait surprenant dans le tableau qui précède, c'est que l'eau à $+ 4^{\circ}$ C. est plus dense que la glace. C'est à cette exception qu'il faut attribuer qu'en hiver nos eaux ne gèlent pas jusqu'au fond.

133. Comme le mercure gèle à une température de 40 degrés

au-dessous de zéro, on prend, pour la détermination de températures plus basses, des thermomètres remplis d'alcool coloré en rouge. De même, les températures qui se rapprochent du point d'ébullition du mercure ou qui le dépassent, ne peuvent plus être déterminées par des thermomètres à mercure.

Les instruments pour déterminer les hautes températures ou *les pyromètres* offrent plus de difficultés, et le moyen le plus fidèle que l'on emploie à cet effet est la dilatation de l'air.

On a encore utilisé la dilatation des corps solides, notamment de l'acier, pour construire des pyromètres de dispositions différentes, mais on les emploie peu.

134. La force avec laquelle les corps sont dilatés par la chaleur est considérable. Les vases les plus forts ne peuvent souvent pas résister, lorsqu'on les chauffe quand ils sont remplis d'eau ou d'air et hermétiquement clos. Il arrive dans bien des circonstances, comme, par exemple, dans la construction des machines, qu'on soit intéressé à connaître de combien les corps solides se dilatent à des degrés différents de température; aussi a-t-on déterminé ces dilatations avec la plus grande exactitude. On a trouvé que, pour une élévation de température de 0° à 100° C., les corps suivants se dilataient dans le sens de leur longueur d'une fraction, comme suit : Le platine de $\frac{1}{1167}$, le verre de $\frac{1}{1147}$, l'acier trempé de $\frac{1}{807}$, le fer de $\frac{1}{819}$, le cuivre de $\frac{1}{584}$, le laiton de $\frac{1}{551}$, le plomb de $\frac{1}{551}$, le zinc de $\frac{1}{540}$. Par conséquent, une barre de fer qui, à la température de zéro, avait une longueur de 819 centimètres, aura à 100° C. une longueur de 820 centimètres. En multipliant les chiffres qui précèdent par deux, on obtient l'augmentation de la surface, et en multipliant par 3, le produit sera l'augmentation du volume cube pour un même degré d'échauffement.

La dilatation des liquides est encore beaucoup plus considérable; car de 0° à 100° C. ils se dilatent, le mercure de 1.8, l'eau de 4.5, l'alcool et l'huile de 10 pour cent de leur volume antérieur, de sorte que, dans le commerce, il est bon d'en tenir compte.

135. Il arrive fréquemment que des corps solides se brisent par suite d'une dilatation inégale, par exemple, lorsqu'on pose un verre ordinaire sur un poêle. L'explication du fait n'est pas difficile. Les particules inférieures du verre s'échauffent et se dilatent plus vite que les supérieures, qui persistent dans leur état antérieur. Il se produit à l'intérieur du verre une tension qui le brise souvent. Plus le verre est mince, ou plus l'échauffement est insensible, par exemple, en mettant au-dessous un peu de papier, moins il y aura de tension inégale et de danger qu'il ne se brise.

136. Un autre effet de la dilatation des corps par la chaleur, c'est la diminution de leur densité. Elle se manifeste distinctement sur les corps

liquides et gazeux. Lorsqu'on chauffe de l'eau dans un vase, les couches inférieures, qui s'échauffent les premières et deviennent ainsi moins denses, s'élèvent, tandis que les couches plus froides se rendent au fond du vase. Il se produit ainsi, dans l'eau, un mouvement qui devient bien évident, lorsqu'on ajoute à l'eau une matière pulvérulente. Ce mouvement continue jusqu'à ce que tout le liquide ait acquis la même température et par conséquent la même densité.

L'air se met encore plus vite en mouvement par la chaleur, et ce que nous nommons *courant d'air* est un mouvement de l'air provoqué par des différences de température. Dans nos chambres chauffées, la couche inférieure d'air est souvent encore très-froide, tandis que la couche supérieure est déjà échauffée. C'est pourquoi en hiver, dans nos chambres chauffées, il y a constamment de l'air chaud qui s'échappe par les fentes supérieures des portes et fenêtres, tandis que par les fentes inférieures il entre de l'air froid. On peut facilement s'en convaincre en promenant, comme dans la fig. 127, une bougie le long de la fente d'une porte entr'ouverte; la direction de la flamme nous indique celle du

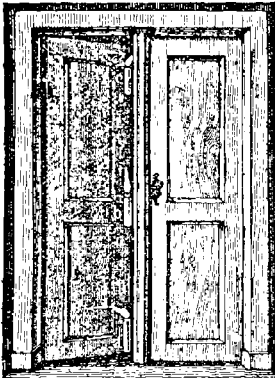


Fig. 127.

mouvement de l'air. Le tirage des cheminées ainsi que des lampes dépend uniquement de ce que l'air échauffé par le feu s'élève vers le haut. On peut se convaincre, par une expérience très-simple et très-amusante, de la propriété qu'a l'air échauffé de s'élever. On découpe une carte à jouer en une lame spirale; on fixe une extrémité de celle-ci sur une aiguille à tricoter, qu'on implante dans un disque de pomme de terre, et on place le tout sur le poêle. L'air, en montant, fait serpenter la lame de carte autour de l'aiguille. Un ballon d'une certaine grandeur, fabriqué avec du papier mince, et dont on échauffe rapidement l'air intérieur, s'élève à une

hauteur considérable et s'y maintient quelque temps, lorsqu'on a suspendu au-dessous de son ouverture inférieure une lampe à esprit-de-vin allumée.

137. Quand on parle de la densité d'un corps, on le fait toujours en se rapportant à une certaine température, sous laquelle la densité a été déterminée. Cependant pour les corps solides et liquides, la densité varie peu pour de petites différences de température. Ordinairement on détermine leur densité pour une température de 12° à 15° C.

Dans les corps gazeux, au contraire, la densité diffère déjà pour de petites différences de température. D'après les observations les plus exactes, tous les gaz se dilatent pour chaque degré du thermomètre centésimal de $\frac{1}{273}$, ou 0,00366 de leur volume. Par conséquent, 273 centimètres cubes d'air à 15° occuperait un espace de 274 centimètres cubes, si la température était élevée à 16° C. Refroidi à 14° C., il n'occuperait plus que 272 centimètres cubes, etc.

Mais à côté du thermomètre, le baromètre nous dit également que la densité de l'air n'est pas toujours égale. Lorsque le baromètre est haut, la densité est autre que lorsqu'il est bas ; mêlé à des vapeurs d'eau, l'air a une autre densité que lorsqu'il est sec.

Cependant, ces circonstances ont été soigneusement prises en considération dans la détermination de la densité des corps, et quand je dis (au § 98) que 770 centimètres cubes d'air pèsent autant qu'un centimètre cube d'eau, ou bien que l'air est 770 fois moins dense que l'eau, je sous-entends la condition, que la détermination de cette pesanteur spécifique a été faite à un état barométrique de 76 centimètres et à une température de 0°. Les mêmes conditions sont sous-entendues dans la désignation de la densité de tous les autres corps gazeux.

Mais comme nous savons, par le § 97, que les volumes des gaz sont en raison inverse de la pression exercée sur eux, et que nous connaissons en outre le rapport de leur dilatation pour chaque degré thermométrique, on peut trouver par le calcul la densité d'un gaz sous une pression et à une température quelconques.

On s'expliquera aisément de cette manière pourquoi un ballon rempli d'air chauffé, et par conséquent moins dense, s'élève dans l'espace. Cela ne nous surprend pas davantage, que lorsqu'un bouchon de liège s'élève après avoir été immergé dans l'eau.

La cause pour laquelle, sur des hauteurs, les vignes et d'autres végétaux ne gèlent quelquefois pas, alors que cela a lieu dans la vallée, s'explique par la position plus élevée qu'occupe l'air chaud.

138. Ébullition. Évaporation. Lorsqu'on expose différents corps à une température élevée, ils peuvent être décomposés, comme cela a lieu pour les matières végétales ou animales, ou bien ils subissent un changement d'état.

À une certaine température, les corps solides deviennent liquides. Nous avons, au § 132, indiqué le point de fusion de différents corps, et nous n'ajouterons qu'une chose, c'est qu'un même corps fond toujours à une même température, ainsi le plomb, par exemple, à 334° C.

Lorsqu'un corps en fusion est chauffé à un degré encore plus élevé, il arrive un moment déterminé où ses molécules, sous l'influence de la

chaleur, acquièrent les propriétés des gaz. La grande moyenne des corps peuvent être convertis en vapeurs ; un grand nombre, à la vérité, exigent une très-haute température ; mais alors aussi on peut réduire en vapeurs même des métaux, tels que du fer, du cuivre et du platine.

Les corps qui se convertissent en vapeur à une température assez basse, se nomment des corps *volatils*.

Toutes les vapeurs persistent dans leur état aussi longtemps que continue la température qui les a produites ; mais aussitôt qu'elles sont refroidies, elles reviennent à l'état liquide, et celui-ci peut de nouveau se convertir en masse solide.

139. C'est sur cette faculté des corps de se réduire en vapeurs par l'échauffement, que reposent deux importantes opérations techniques et chimiques.

La *sublimation* est l'opération par laquelle un corps solide est réduit en vapeurs, qu'on condense de nouveau dans des appareils convenables. Elles s'attachent ordinairement alors sous forme de poudre très-fine, dite sublimé. L'appareil le plus simple consiste en un tube de verre, que l'on ferme au chalumeau, après y avoir introduit un corps volatil (le camphre, par exemple), et qu'on soumet ensuite à l'action de la chaleur. Le camphre se transforme bientôt en une vapeur blanche qui s'attache, sous forme de poudre fine, à la partie supérieure et plus froide du tube.

La *distillation* reçoit une application plus fréquente. On y procède, lorsqu'on veut séparer les parties volatiles d'un corps de celles qui ne le sont pas du tout, ou qui le sont seulement à un degré plus faible. C'est ainsi que la distillation de l'eau-de-vie, par exemple, a pour but de séparer l'alcool volatil de la matière fermentée.

Un appareil à distiller consiste ordinairement en trois parties, savoir :

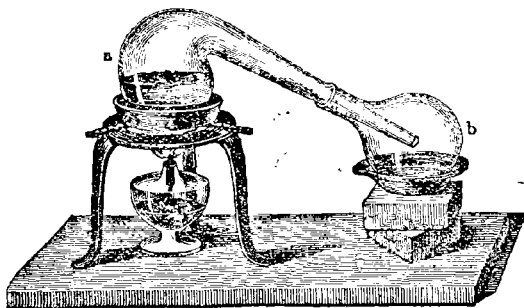


Fig. 128.

le vase à distiller, où le liquide est échauffé, l'appareil réfrigérant, où les vapeurs sont condensées, et un réservoir destiné à recevoir le liquide distillé.

Pour les travaux chimiques, ces parties sont en verre. Comme nous le voyons dans la fig. 128, les vapeurs produites dans la cor-

neue *a* viennent se refroidir dans le col de la cornue, et le liquide condensé arrive dans le ballon *b*, qui sert de réservoir.

Mais lorsque les vapeurs sont très-volatiles, il faut encore d'autres auxiliaires pour les refroidir et les condenser ; sans cela il s'en échapperait une grande partie, qui serait perdue.

Pour une quantité assez petite, l'appareil représenté (fig. 129) peut servir très-avantageusement.

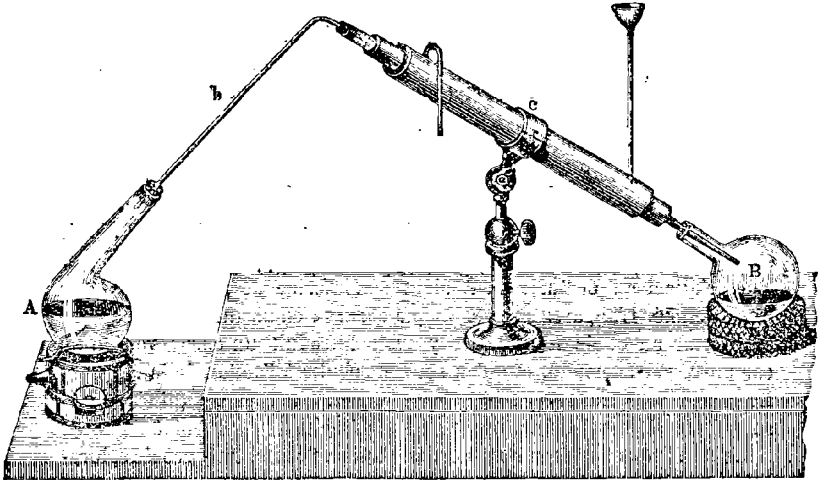


Fig. 129.

Les vapeurs s'élevant de la cornue A passent dans un long tube de verre, enfermé lui-même dans un tube beaucoup plus large en fer-blanc. L'espace qui sépare les deux tubes est rempli d'eau froide, qu'on renouvelle au moyen de l'entonnoir, tandis que l'eau échauffée s'écoule en haut par le tube recourbé.

Pour faire les eaux-de-vie, on se sert de l'appareil fig. 130. Il consiste en une chaudière large et basse en cuivre, laquelle est surmontée du chapiteau. La chaudière est maçonnée dans un fourneau convenable. Les vapeurs produites dans la chaudière passent par un serpentín a en cuivre ou en étain dans la cuve, dite *chauffe-vin*, où se trouve du liquide fermenté, qui, en refroidissant les vapeurs alcooliques, s'échauffe lui-même, et qu'on laisse alors couler par le robinet b dans la chaudière, pour être soumis à son tour à la distillation. Du *chauffe-vin*, la vapeur non encore condensée passe dans la cuve réfrigérante, dont le tuyau, long et tourné en spirale, est entouré d'eau froide, de sorte qu'il est difficile qu'il s'en échappe une partie sans avoir été condensée.

Il est bon d'observer qu'il y a une quantité innombrable d'appareils

différents pour distiller, mais tous, quelle qu'en soit la forme, concordent, pour les parties essentielles, avec celui que nous venons de décrire.

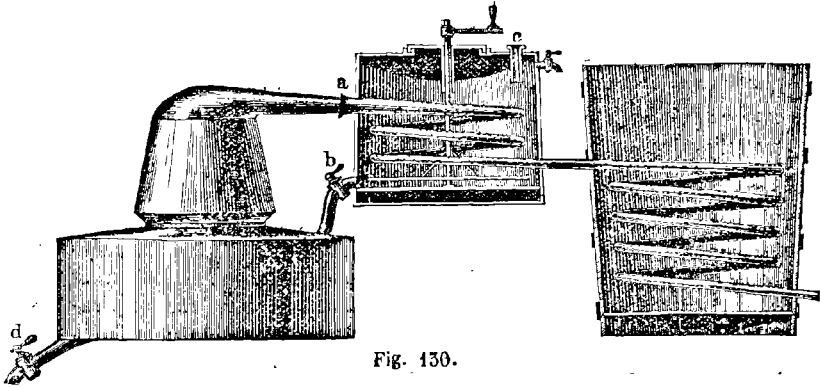


Fig. 130.

140. Lorsque je chauffe de l'eau dans un vase ouvert, deux choses viennent s'opposer à sa transformation en vapeurs, savoir la cohésion de ses molécules et la compression qu'exerce sur celles-ci le poids de l'air atmosphérique. Pour la formation de vapeurs, ces deux obstacles doivent être vaincus.

En continuant à chauffer l'eau jusqu'à 100° C., ses molécules acquièrent une tendance à s'éloigner les unes des autres, tendance plus forte que les deux obstacles. A partir de ce moment, nous voyons s'élever du fond, c'est-à-dire de la partie la plus déclive du vase, des bulles de vapeur qui montent dans l'eau, y produisent un mouvement de bouillonnement et s'échappent ensuite dans l'air. Nous nommons ce phénomène *ébullition*, et la force élastique de la vapeur des bulles qui s'élèvent est égale à la pression atmosphérique, car, dans le cas opposé, elles ne pourraient se former. Nous pouvons de cette manière convertir totalement une quantité déterminée d'eau en vapeurs, et nous observons que pendant toute la durée de l'ébullition, le thermomètre ne s'élève pas au-dessus de 100° C., même quand nous faisons le plus grand feu possible sous le vase. Toute la chaleur se transmet alors, comme nous le verrons, à la vapeur qui se forme.

Lorsque nous faisons bouillir de l'eau sur une haute montagne et que nous y plongeons un thermomètre, celui-ci ne s'élève pas à 100° C. La raison en est facile à démontrer. La pression atmosphérique sur l'eau est plus faible, l'ébullition doit avoir lieu à une température plus basse que dans une localité située plus bas. Sur le grand plateau de Quito, situé à 8724 pieds au-dessus du niveau de la mer, l'eau bout déjà à 90° C. Là

il est impossible de préparer un œuf dur par la cuisson dans l'eau à vase ouvert. Lorsque, au moyen de la machine pneumatique ou de toute autre manière, on fait le vide presque complet dans un vase qui contient un peu d'eau, celle-ci bout par la seule chaleur de la main.

141. L'eau, sans même avoir été chauffée, se transforme en vapeurs quand elle est exposée à l'air libre. Cette transformation spontanée en vapeurs a lieu beaucoup plus lentement et se nomme l'*évaporation*. Une certaine quantité d'eau s'évapore d'autant plus vite, que sa surface de contact avec l'air est plus grande, que l'air est plus sec et plus chaud, et que les couches d'air au-dessus de l'eau se renouvellent plus rapidement.

142. Lorsqu'on dissout dans l'eau du sel de cuisine, d'autres sels, du sucre ou d'autres substances, ces dissolutions doivent être chauffées à une température supérieure à 100° C., pour entrer en ébullition. La plupart des mets qui bouillent dans nos cuisines ont ainsi une température plus élevée : c'est pour cette raison qu'ils occasionnent des brûlures plus violentes que de l'eau bouillante par elle-même.

143. Des vapeurs. La loi de Mariotte (§ 97) nous a enseigné que la force élastique de l'air enfermé devient d'autant plus forte, qu'on le comprime dans un espace plus petit. Cette loi s'applique à tous les gaz ; cependant, pour certains d'entre eux, seulement dans de certaines limites. Si l'on soumet, par exemple, de l'acide carbonique à une pression de plus en plus forte, sa force élastique s'accroît à la vérité continuellement, mais tout d'un coup il passe de l'état gazeux à l'état liquide. Il en est absolument de même pour la plupart des autres gaz, comme le chlore gazeux, le gaz à éclairer, etc. Lorsqu'on diminue la pression, une partie du gaz, qui s'était condensée en liquide, reprend de nouveau sa forme gazeuse. Il n'y a que trois gaz, savoir l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, de même que l'air atmosphérique qui est un mélange des deux derniers gaz, qui ne se liquéfient pas, même sous la plus forte pression, et on les nomme pour cette raison des *gaz permanents*.

Sous le nom de *vapeurs*, au contraire, on désigne ces corps gazeux qui, à la température ordinaire et sous la pression atmosphérique moyenne, peuvent encore rester liquides, tels sont : l'eau, l'alcool, l'éther, etc.

Ces vapeurs se distinguent surtout des gaz, en ce qu'elles ne sont pas soumises à la loi de Mariotte. Figurons-nous un espace rempli de vapeur jusqu'à saturation, et cette vapeur soumise à une pression progressive : sa force élastique n'ira pas toujours en augmentant, mais une partie se convertira en liquide, et l'autre partie conservera sa force élastique antérieure.

144. Mais lorsqu'on chauffe de l'eau dans un vase fermé, de telle sorte que les vapeurs qui se forment ne puissent pas s'échapper, alors la

température de l'eau augmente constamment, et en même temps la vapeur enfermée acquiert une tension de plus en plus grande, qui peut devenir d'une puissance formidable. C'est pourquoi on prend ordinairement, pour ces essais, des vases en fer très-solides.

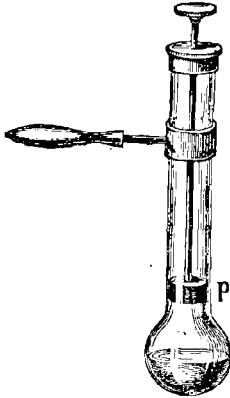


Fig. 131.

La fig. 131 représente un vase en verre, dont l'ouverture est hermétiquement fermée par le piston *p*; si j'échauffe l'eau qui s'y trouve, la force élastique de la vapeur qui y est enfermée, ne tardera pas à soulever le piston dans le vase. Si, dans ce moment, je retire rapidement le vase du feu, et qu'ainsi je condense subitement la vapeur, il en résultera évidemment, sous le piston, un espace où l'air est raréfié, et la pression atmosphérique abaissera de nouveau le piston.

Dans cette simple expérience, dans ce soulèvement et cet abaissement du piston, nous avons la base de la disposition de toutes les machines à vapeur.

Le tableau suivant indique la force élastique des vapeurs d'eau à des températures plus élevées :

FORCE ÉLASTIQUE en ATMOSPHÈRES.	TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE.	PRESSION SUR UN CENTIMÈTRE CARRÉ EN KILOGRAMMES.
1	100° C.	1.03
2	121	2.07
4	145	4.88
6	160	6.20
8	172	8.28
10	182	10.33
15	200	15.49
20	215	20.66
25	226	25.82
50	256	30.99

145. La machine à vapeur. Dans l'introduction, nous avons signalé l'invention de l'imprimerie comme un événement qui a assuré à la science une durée éternelle, qui lui a fourni des moyens de s'étendre et de s'accroître, sans lesquels elle ne serait jamais parvenue à la position élevée qu'elle occupe aujourd'hui.

L'invention de la machine à vapeur a la même importance pour l'industrie. Elle prête à l'homme des bras par cent mille, elle lui remplace des

milliers d'animaux de bât et de trait. Elle rend le navigateur indépendant du vent et du courant d'eau; elle meut nos moulins, que le ruisseau soit à sec ou qu'il soit gelé jusqu'au fond de son lit; elle maîtrise avec facilité toutes les charges et franchit les distances avec la vitesse du vent.

Et comme toute transformation considérable dans les circonstances extérieures de l'homme réagit plus ou moins sur le moral, l'influence indirecte de la vapeur sur son état intellectuel n'est pas d'une moindre importance.

Si l'imprimerie avait pour mission de répandre et d'éterniser les pensées et les idées, la machine à vapeur a pour tâche essentielle de favoriser les faits et de donner des idées; si la première établit une communication entre les esprits de tous les siècles, la seconde fait communiquer en personne ceux du temps présent.

La machine à vapeur mérite donc ici une étude particulière, afin que ses effets ne nous paraissent pas quelque chose de miraculeux, de surnaturel, mais qu'ils nous montrent d'une manière frappante comment les forces de la nature se mettent au service de l'intelligence.

146. L'effet de la machine à vapeur est donc la conséquence de la grande force élastique de la vapeur d'eau enfermée et chauffée au delà du point d'ébullition, et l'intensité de son effet dépend de la force élastique de la vapeur qui est employée et de la surface du piston.

Supposons que la vapeur ait une force élastique égale à la pression atmosphérique, et que le piston ait un mètre carré de surface, d'après le § 102, le piston sera abaissé avec une force égale à 10000 kilogrammes. Mais lorsqu'on emploie une force élastique trois ou quatre fois plus grande, l'effet de la machine sera trois ou quatre fois plus intense.

Les machines qui emploient la vapeur à une tension moins forte se nomment machines à *basse pression*, tandis que celles qui utilisent la vapeur avec une force élastique considérable se nomment machines à *haute pression*.

Mais on ne doit pas s'imaginer que les machines à basse pression ne soient pas susceptibles de développer autant de force que celles à haute pression. Dans ces dernières, la coupe du cylindre est plus petite, de sorte que les rapports s'égalisent. Car, évidemment, on obtiendra des effets tout à fait identiques par la pression d'une atmosphère sur un piston de quatre pieds carrés de superficie, et par la pression de quatre atmosphères sur une surface de piston d'un pied carré.

Naturellement, dans ce dernier cas, le volume de la machine sera plus petit, surtout parce que l'on ne condense pas ici la vapeur d'un côté du piston, mais qu'on la laisse échapper, ce qui simplifie considérablement la machine.

147. La chaudière à vapeur ou le générateur. La production de la vapeur se fait dans des chaudières en fer ou en cuivre. Leur forme

varie beaucoup; cependant elle est toujours telle, qu'il y ait une surface aussi grande que possible en contact avec le feu. On choisit ordinairement la forme d'un cylindre fermé à ses deux extrémités et entouré totalement par le feu. On parvient, de cette manière, à convertir rapidement une grande quantité d'eau en vapeur, qui est conduite, par un tuyau, vers la machine. L'épaisseur des parois du générateur doit dépendre du diamètre de la chaudière ainsi que de la tension de la vapeur; elle est fixée par des règlements. Des appareils spéciaux sont adaptés au générateur pour permettre de reconnaître la force de tension de la vapeur et l'état de l'eau; il s'y trouve en outre toujours une soupape de sûreté, un tube qui sert à dégager la vapeur, un tube servant à renouveler l'eau de la chaudière, et enfin l'ouverture, dite trou d'homme, par laquelle on pénètre dans la chaudière, pour le nettoyage.

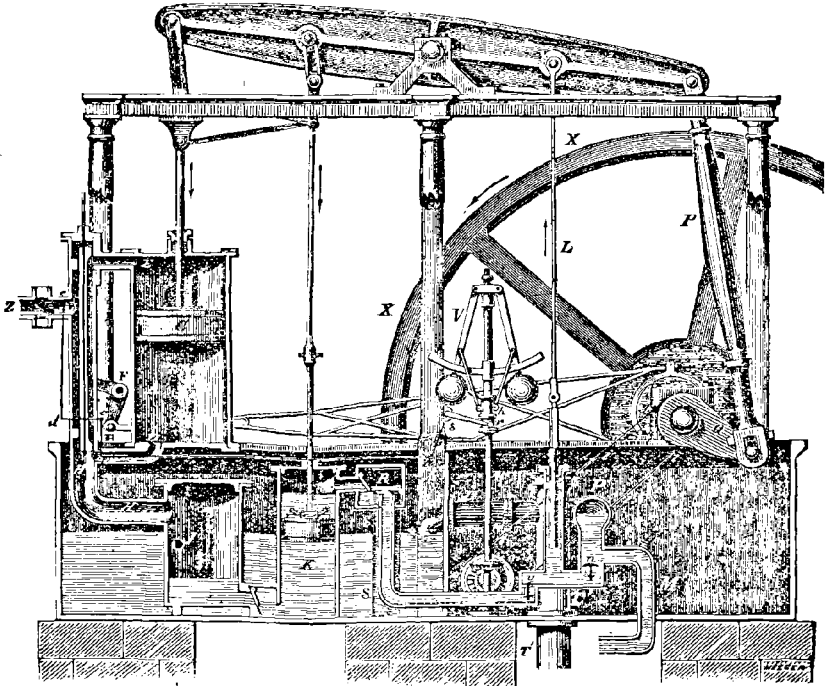


Fig. 132.

148. La machine à basse pression nous est représentée dans la fig. 132. La vapeur arrivant par Z parvient, au moyen d'une disposition

spéciale, alternativement au-dessus et au-dessous du piston *C*, qui monte et qui descend dans le cylindre *A*. Supposons que la vapeur soit entrée par l'ouverture *E* au-dessus du piston, celui-ci est pressé de haut en bas. Mais si la partie du cylindre située sous le piston est également remplie de vapeur, celle-ci s'opposera à la pression du haut et empêchera l'abaissement du piston. C'est pourquoi la vapeur doit toujours disparaître d'un côté du cylindre, ce qui se fait effectivement avec la plus grande régularité, car le même appareil qui conduit alternativement la vapeur au-dessus ou au-dessous du piston, est disposé de manière à faire passer en même temps la vapeur du côté opposé, par le tube *III*, dans le réservoir *J*, entouré d'eau froide. Ce dernier se nomme le *condenseur*, parce que la vapeur y est condensée en eau.

Mais, lorsque la moitié supérieure du cylindre est remplie de vapeur possédant une forte tension, tandis que la moitié inférieure est devenue un espace vide par la condensation de la vapeur qui s'y trouvait, le piston est nécessairement poussé jusqu'en bas. Il remontera ensuite de la même manière quand la vapeur au-dessus de lui sera condensée et qu'il entrera de la vapeur sous lui par l'ouverture *D*.

La tige du piston, fixée au centre de celui-ci et passant hermétiquement à travers le couvercle du cylindre, suit naturellement le mouvement du piston quand il monte ou qu'il descend. Mais c'est un cas assez rare que ce soit justement ce mouvement qui convienne aux besoins de l'industrie. Dans la plupart de nos travaux industriels, par exemple, dans nos moulins à eau, le mouvement part d'un cylindre horizontal nommé l'arbre de couche. Il s'agit donc de convertir le mouvement vertical du piston en un mouvement de rotation horizontale.

Cela se fait de la manière suivante : La tige du piston est fixée supérieurement à l'extrémité d'un levier à bras égaux qu'on nomme *balancier*. A l'autre extrémité de celui-ci se trouve adaptée la *bielle* *P*, qui est fixée par sa partie inférieure à la *manivelle* *Q* de l'arbre de couche et lui transmet le mouvement. De la rotation de l'arbre de couche résulte également celle de la roue en fonte, dite volant *XX*, qui se meut dans la direction de la flèche.

Il nous reste encore à expliquer quelques autres parties du dessin.

L'eau qui s'accumule dans le condenseur par la condensation de la vapeur en est enlevée au moyen de la pompe qui fonctionne dans le réservoir *K*. De là elle arrive dans un réservoir à deux branches *R*, d'où une pompe foulante, mue par la tige *L*, la chasse par le tuyau *M* dans le générateur. Cette eau étant encore chaude, est plus propre à se convertir rapidement en vapeur que l'eau froide.

L'appareil *V* se nomme le *régulateur*. Il a pour tâche de laisser entrer par la soupape *e*, située dans le tuyau *Z*, plus ou moins de vapeur, selon qu'il faut une force plus ou moins grande.

149. La machine à haute pression réclame, dans un même laps de temps, à peu près la même quantité de vapeur qu'une machine à basse pression de la même force. Mais la première doit être disposée de manière à pouvoir transformer en peu de temps et dans un espace fort restreint

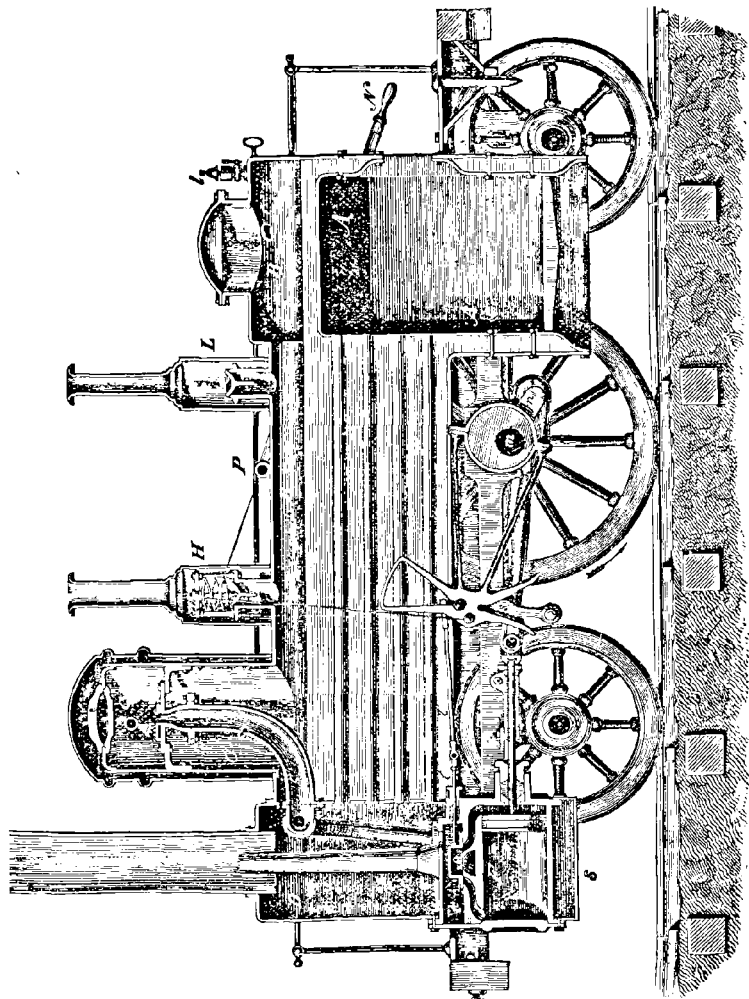


Fig. 133.

une grande quantité d'eau en vapeur. Cela s'effectue, ainsi qu'on peut le voir dans les fig. 133 et 134, représentant la coupe longitudinale et la

coupe transversale d'une locomotive, en faisant passer de l'air échauffé dans la boîte à feu *A A* par une quantité de tuyaux en cuivre entourés

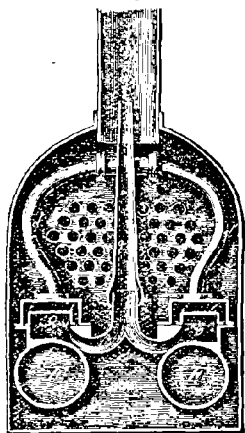


Fig. 134.

d'eau. La vapeur produite, qui atteint une force élastique de 4 à 6 atmosphères, s'accumule dans l'espace *B B*, monte dans l'espace de dôme *C C*, nommé *boîte à vapeur*, et parvient dans le tuyau *c c*, qui se bifurque en deux branches communiquant chacune avec un cylindre. Dans notre figure, il n'y a qu'une seule branche visible, *d*, de même que nous ne voyons qu'un seul des deux cylindres *F*. On voit qu'il a une position horizontale et que la tige du piston avance et recule horizontalement. Celle-ci communique avec une bielle et une manivelle *n*, et met la grande roue en mouvement, les petites roues étant simplement entraînées par le mouvement de la grande. La vapeur devenue superflue sort par le tuyau *q* et s'échappe, simultanément avec la fumée, par la cheminée.

Un mécanisme ingénieux, nommé *distribution de vapeur*, est destiné à permettre l'entrée et la sortie de la vapeur alternativement de l'un ou de l'autre côté du piston, de façon à déterminer tantôt sa marche en avant, tantôt sa marche en arrière. Nous allons l'expliquer sur les fig. 135 et 136, qui représentent

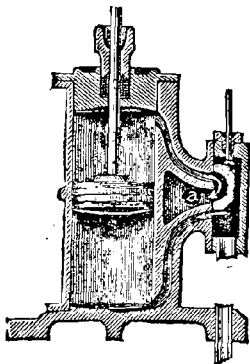


Fig. 135.

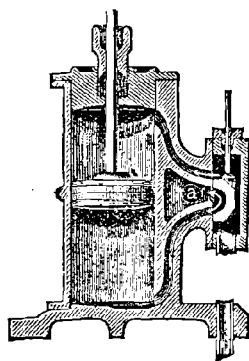


Fig. 136.

deux coupes d'un cylindre avec détente. Comme on le voit, une des parois du cylindre est très-épaisse et traversée par deux canaux qui débouchent dans un tiroir mobile où la vapeur arrive par le tuyau de conduite.

Aussitôt que la machine est mise en mouvement, il s'opère continuellement, au moyen d'un mécanisme approprié, un léger déplacement du tiroir, de telle sorte qu'une fois, comme dans fig. 135, la vapeur pénètre par le canal inférieur et fait monter le piston, tandis que la vapeur située au-dessus du piston trouve dans l'autre canal une issue menant à l'ouverture d'écoulement latéral *a*; une autre fois, comme dans fig. 136, c'est le mouvement inverse qui se produit.

150. Déjà dans le XVII^e siècle on possédait des machines qui étaient mises en mouvement par la vapeur. Mais elles étaient encore très-imp parfaites; et ce n'est qu'en 1765 que l'Anglais Jacques Watt donna à la machine à vapeur une disposition telle qu'elle existe encore aujourd'hui dans ses pièces essentielles. Le premier bateau à vapeur d'une certaine grandeur, qui ait réussi, fut construit en 1807 par l'Américain Robert Fulton.

Le combustible pour les machines à vapeur est ordinairement le charbon de terre. Une machine fixe de la force d'un cheval en consomme par heure environ 10 kilogrammes. Dans le même espace de temps, il faut aux machines de la force de

2 chevaux.....	15,0 kilogrammes de houille.
10 »	50,0 » »
20 »	85,0 » »
100 »	278,0 » »
200 »	550,0 » »

Les machines des bateaux à vapeur et les locomotives consomment proportionnellement beaucoup plus de charbon.

151. Transmission du calorique. Nous savons qu'un corps auquel on a donné un haut degré de température, perd insensiblement sa chaleur, qu'il se refroidit. Tout le monde sait aussi qu'un corps d'une basse température en acquiert insensiblement une plus élevée, lorsqu'il est soumis à l'influence d'une source de chaleur. Le calorique n'est donc pas quelque chose qu'on puisse, pour ainsi dire, renfermer dans un corps; comme tout mouvement, il tend constamment à se mettre en équilibre avec ce qui l'entoure et se trouve, par conséquent, dans un mouvement continu.

La chaleur se transmet de deux manières. Elle se propage d'abord à travers la masse des corps, de telle sorte qu'une particule la transmet à la particule voisine, et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les particules en soient pénétrées. C'est la propagation de la chaleur par *conductibilité*. Dans d'autres cas, la chaleur se propage à travers l'air, elle sort des corps en rayons semblables à ceux du son et de la lumière, et se nomme alors chaleur *rayonnante*.

152. Tous les corps ne propagent pas avec une vitesse égale la chaleur à travers leur masse. Quand nous faisons rougir une épingle à l'une de ses extrémités il est difficile de la tenir par l'autre extrémité sans se brûler. Par contre, une bague de bois encore plus courte peut brûler à l'une de ses extrémités, pendant que nous tenons impunément l'autre extrémité entre les doigts. Les corps peuvent donc être de *bons conducteurs* de la chaleur ou de *mauvais conducteurs*.

Les corps denses et par conséquent les métaux sont les meilleurs conducteurs. Cela se remarque de la manière la plus frappante lorsqu'on tient un tissu métallique à travers la flamme d'une bougie ; celle-ci se rafraîchit tellement qu'elle ne traverse pas la trame métallique. Des corps d'une densité moindre ne propagent la chaleur que lentement à travers leur masse, surtout lorsque ces corps sont très-poreux. C'est pourquoi on range les pierres, la terre, les vases de terre, le verre, parmi les conducteurs médiocres ; le bois, la paille, les poils, la fibre végétale et les tissus qui en sont fabriqués, parmi les mauvais conducteurs de la chaleur.

Beaucoup de phénomènes des plus vulgaires sont des conséquences de la conductibilité différente des corps ; tels sont, par exemple, l'ébullition plus prompte de l'eau dans les vases en métal que dans ceux en terre ; l'extinction plus rapide d'un charbon ardent lorsqu'il est posé sur un plateau de fer que lorsqu'on le dépose sur du bois ; la sensation de froid que les métaux donnent au toucher parce qu'ils absorbent vite la chaleur de notre main.

Pour que la chaleur de notre corps ne diminue pas trop, soit par le rayonnement, soit par la conductibilité, nous l'entourons de mauvais conducteurs de la chaleur, d'étoffes de laine, de pelletteries. Pour la même raison nous nous servons, pour faire des lits chauds, de mousse, de foin et de plumes, et nous entourons nos arbres et nos plantes avec de la paille, pour les garantir du froid.

L'air et l'eau sont également de mauvais conducteurs du calorique. L'air dans les caves et les puits conserve en hiver et en été à peu près la même température, et nous avons déjà fait observer, au § 156, que l'air et l'eau ne propageaient rapidement la chaleur que parce que celle-ci les met en mouvement. Parmi les corps mauvais conducteurs du calorique, il faut encore ranger la neige et la glace. La plupart de nos semences d'hiver gèlent dans les hivers rudes, lorsqu'elles ne sont pas garanties par une couverture de neige.

153. Quant aux rayons de chaleur, partant, par exemple, d'un poêle allumé, nous nous en ressentons facilement en nous approchant de celui-ci. Pour prouver que la chaleur parvient bien jusqu'à nous sous forme de rayons, on n'a qu'à interposer un écran : il forme obstacle aux rayons et nous en garantit. La chaleur du soleil parvient également à la

terre sous forme de rayons, et l'air n'en est échauffé qu'à un faible degré, car dans les couches supérieures nous le trouvons très-froid.

De même que les rayons sonores, les rayons de chaleur sont *réfractés* ou *déviés* lorsqu'ils arrivent dans un milieu de densité différente; ils sont également *réfléchis* lorsqu'ils tombent sur des corps solides. Nous remarquons ces deux propriétés de la manière la plus évidente, à l'aide de la *lentille* et du *miroir concave*.

La lentille sera décrite dans le chapitre consacré à la lumière. Le miroir concave est en laiton bien poli. Dans la fig. 137, nous voyons deux de ces

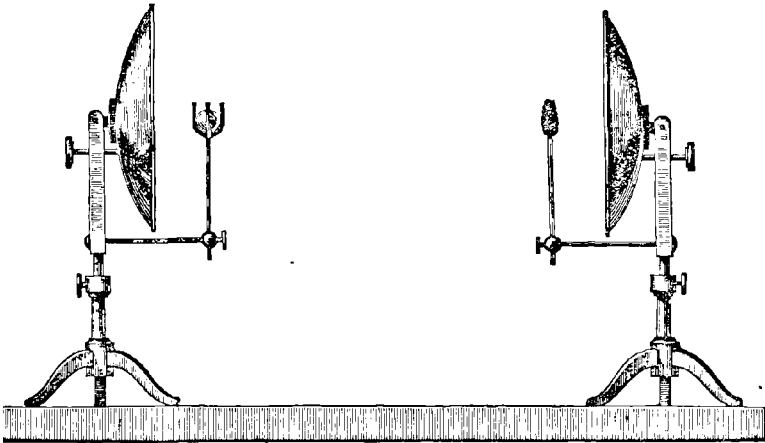


Fig. 137.

miroirs en face l'un de l'autre. Tous les rayons de chaleur qui tombent sur la surface du miroir dans une direction parallèle à son axe, sont réfléchis de manière à se réunir en un point situé devant le miroir. Dans ce point se trouve réunie la somme des rayons de chaleur qui ont atteint le miroir concave, et il se nomme pour cette raison le *foyer*. D'autre part lorsqu'on met un corps qui rayonne de la chaleur dans le foyer d'un miroir concave, tous les rayons tombant sur celui-ci en seront réfléchis en direction parallèle.

Ces propriétés du miroir concave ou réflecteur ont été confirmées par les expériences suivantes : deux réflecteurs sont placés comme dans la fig. 137, et dans le foyer de l'un d'eux on met un boulet en fer rougi ou une cuillerée de charbons incandescents. Dans le foyer de l'autre réflecteur, qui peut se trouver à une distance de 4 à 5 mètres, on place un corps facilement inflammable, par exemple, un peu d'amadou : celui-ci

s'enflamme, car les rayons de chaleur partant du corps incandescent et arrivant sur le premier réflecteur sont réfléchis en direction parallèle vers le second, qui les réunit à son foyer, où il se produit une chaleur qui suffit pour allumer un corps inflammable.

Quand on place le thermomètre à très-peu de distance hors du foyer ou à une place quelconque entre les deux réflecteurs, on constate que les rayons de chaleur ne produisent, en aucun autre point, une élévation sensible de température.

La température du foyer dépend de la grandeur du réflecteur et de la température de la source de chaleur. On a construit des réflecteurs capables de concentrer les rayons caloriques du soleil à ce point qu'à leur foyer on a fondu et enflammé des corps qu'on n'était pas parvenu à mettre en cet état au moyen du feu le plus violent.

La vitesse des rayons solaires est égale à celle de la lumière, qui parcourt en une seconde 78,000 lieues de 4 kilomètres.

154. Les corps se comportent d'une manière extraordinairement différente envers les rayons de chaleur qui tombent sur eux. Il y a des corps qui laissent passer tous les rayons de chaleur à travers leur masse, sans en absorber ou retenir la moindre partie. Tel est, par exemple, l'air. Le même phénomène s'observe aussi sur des corps solides, par exemple sur le sel gemme. Cependant, on pourrait les considérer comme des exceptions, car tous les autres corps *absorbent* plus ou moins les rayons de chaleur qui leur parviennent.

Règle générale, un corps solide absorbe d'autant mieux les rayons de chaleur qu'il est moins dense et d'une couleur moins foncée.

C'est pour cette raison que le noir de fumée absorbe presque tous les rayons de chaleur, tandis que de l'argent ou du fer bien polis les réfléchissent *presque totalement*. Si de deux thermomètres on entoure l'un d'une étoffe blanche, l'autre d'une étoffe noire, et qu'on les expose de la même manière au soleil, celui qui est enveloppé de noir indiquera une température beaucoup plus élevée que l'autre. La neige fond également plus vite lorsqu'on y place un morceau d'étoffe noire, que si l'on y mettait une étoffe blanche. Un terrain est d'autant plus échauffé par les rayons solaires, que sa couleur est plus foncée. Cela explique aussi pourquoi l'on préfère en été des habillements blancs et en hiver des habits de couleurs foncées.

Ces deux groupes de corps sont également opposés l'un à l'autre sous le rapport de la faculté d'*émettre* de la chaleur (*pouvoir émissif*). Les corps denses ne possèdent qu'un pouvoir émissif faible, tandis qu'il est beaucoup plus fort chez les corps poreux. C'est ainsi qu'un liquide chaud quelconque, comme du thé ou du café, par exemple, se refroidira beaucoup plus lentement dans des vases métalliques polis que dans un pot de terre enduit de noir de fumée.

155. Chaleur latente. Nous avons vu, au § 140, que de l'eau échauffée jusqu'au point d'ébullition n'augmentait plus de température, bien que nous continuions à lui communiquer de la chaleur. Une partie de la chaleur passe alors constamment dans la vapeur, mais le thermomètre indique invariablement 100° C., aussi bien dans l'eau elle-même qu'au milieu de la vapeur.

Lorsqu'on place de la glace ou de la neige, qui ont exactement une température de 0° C., dans un vase sur le poêle, l'eau qui résulte de la glace fondante marque également 0°. Toute la chaleur que nous avons envoyée au corps dans les deux cas ne paraît servir qu'à transformer l'eau solide en eau liquide dans la fonte de la glace, et, dans l'ébullition, à convertir l'eau liquide en vapeurs, sans cependant que l'eau résultant de la fonte de la glace indique une température plus élevée que la glace et sans que la vapeur se montre plus chaude que l'eau bouillante.

Les corps peuvent donc absorber de la chaleur sans que leur température s'élève, mais alors ils passent à un état de densité moindre. La chaleur absorbée de cette manière, insensible à nos sens, se désigne sous le nom de chaleur liée ou chaleur latente. La vapeur produite à 100° C. est, par conséquent, de l'eau à 100° + la chaleur latente.

Dans toutes les circonstances où un corps passe d'un état plus dense à un état moins dense, il ne le fait qu'en absorbant ou liant une certaine quantité de chaleur. Cette chaleur est enlevée à l'entourage le plus proche et la température de celui-ci est ainsi abaissée. Lorsqu'on verse, par exemple, dans les chaudes journées d'été, de l'eau sur le sol, celle-ci se transforme en vapeur en absorbant une quantité considérable de chaleur, ce qui refroidit sensiblement l'air. Lorsqu'on tient en même temps un thermomètre à boule sèche et un autre à boule humide, le dernier indiquera une température moins élevée, parce que l'eau qui s'évapore à sa surface lui enlève de la chaleur.

Cependant, dans le passage de l'état gazeux à l'état liquide, et de celui-ci à l'état solide, les corps abandonnent de nouveau leur chaleur latente. Cela a lieu ordinairement dans des circonstances qui rendent insensible le dégagement de chaleur. Avec le concours de l'affinité chimique, on est néanmoins en état de forcer des quantités d'eau assez grandes à passer de l'état liquide à l'état solide et vice versa. C'est ainsi que lorsqu'on éteint de la chaux, l'eau se solidifie, et l'abandon de son calorique latent produit un échauffement considérable. Mais si, au contraire, on mélange de l'acide sulfurique avec du sel de Glauber cristallisé, qui contient de l'eau solide, cette dernière devient subitement liquide en absorbant tant de chaleur qu'il en résulte un refroidissement de — 8° à — 10°, qui suffit pour produire de la glace, même par la plus forte chaleur, ainsi que nous le démontrera l'étude de la chimie.

156. Calorique spécifique. Lorsque je veux élever d'un même nombre de degrés la température de corps différents possédant un même poids, et momentanément une même température, j'aurai besoin pour cela de quantités très-différentes de calorique. Si nous choisissons pour cette expérience de l'eau, de l'essence de térébenthine, du fer et du mercure, nous verrons que les quantités de chaleur que ces corps réclament pour être échauffés de 1°, sont entre elles comme 1 : 1/2 : 1/8 : 1/33. L'essence de térébenthine ne réclame que la moitié, le fer un huitième et le mercure un trente-troisième seulement de la chaleur nécessaire à l'élévation de l'eau à la température citée. Supposons que dans l'un des deux vases, parfaitement égaux, il se trouve 1 livre d'eau, et dans l'autre 1 livre d'essence de térébenthine, toutes deux de température égale. Si je dois échauffer les deux liquides, dans le même laps de temps, d'un nombre égal de degrés, il me faudra pour l'eau deux flammes de la même grandeur, là où je n'en emploie qu'une pour l'essence de térébenthine.

On nomme les quantités relatives de chaleur qu'il faut au corps pour obtenir une égale augmentation de température, la *chaleur spécifique* ou *capacité calorifique* des corps. Dans les comparaisons établies à cet égard, on prend celle de l'eau égale 1.

On peut déduire de cela que, de même que chaque corps possède une pesanteur spécifique particulière, de même chacun d'eux possède aussi une quantité particulière de chaleur insensible au thermomètre, dont dépend la faculté d'absorber de la chaleur, autrement dit sa *capacité calorifique*.

EFFET DE DIFFÉRENTS COMBUSTIBLES.

Il me paraît d'une utilité pratique, avant de terminer ce chapitre sur la chaleur, d'indiquer les quantités de chaleur que produisent des quantités déterminées de divers corps pendant leur combustion. L'expérience a démontré que la combustion d'un kilo des combustibles ci-après pouvait échauffer le nombre indiqué de kilogrammes d'eau de 0 à 100 degrés.

Gaz hydrogène.....	250
Gaz d'éclairage.....	64
Bois parfaitement sec.....	36
Bois sec.....	29
Charbon de bois.....	75
Houille, la meilleure.....	70
Houille, qualité inférieure.....	60
Coke.....	66
Tourbe ordinaire.....	15
Tourbe, bonne qualité.....	30
Charbon de tourbe.....	65
Huile d'olive.....	112
Huile de colza purifiée.....	95
Alcool.....	60
Suif.....	80

VI. La Lumière.

157. Les phénomènes généralement si récréatifs de la lumière sont également dus à des causes différentes, et en ce sens nous parlons de différentes sources de lumière. Nous considérons comme telles : 1° Le soleil et les étoiles fixes. 2° La chaleur, attendu que tous les objets apparaissent lumineux lorsqu'ils ont été portés à une certaine température. Il importe peu en ce cas que la chaleur soit le résultat d'influences mécaniques ou chimiques, quoique les dernières soient les plus fréquentes. 3° L'électricité. 4° Beaucoup d'animaux des classes inférieures ont la propriété de luire : le ver luisant nous en offre l'exemple le plus connu. A un degré inférieur, cette propriété se retrouve dans quelques végétaux, notamment le rhizomorphe qu'on rencontre quelquefois dans les mines. 5° Lors de la putréfaction de matières animales, surtout des poissons, et dans la décomposition sèche des matières végétales, dans ce qu'on nomme la carie du bois, on remarque souvent une vive lumière.

De toutes ces sources de chaleur, c'est la lumière solaire qui mérite particulièrement notre attention. Après elle, la plus remarquable est celle qui se produit pendant le phénomène chimique de la combustion.

Dans tous les autres cas où nous voyons de la lumière répandue par un objet, elle n'émane pas directement de cet objet, mais lui a été communiquée. Tous les objets sont, par conséquent, ou *lumineux* ou *non-lumineux*. C'est ainsi que la lumière de la lune lui est communiquée par le soleil, car elle-même n'est pas lumineuse, pas davantage que la terre et en général que la plupart des corps.

158. La lumière apparaît si fréquemment associée à la chaleur et possède tant de caractères communs avec celle-ci, que beaucoup de personnes les considèrent comme inséparables, ou plutôt comme quelque chose d'identique à des degrés différents. Cependant, on peut parfaitement les distinguer et les séparer l'une de l'autre; car nous avons des lumières très-vives, telles, par exemple, celles que répandent les animaux et la lune, qui ne sont pas accompagnées de chaleur, et d'un autre côté nous voyons des corps absorber et émettre des quantités considérables de chaleur sans le moindre phénomène lumineux.

159. La lumière ne se propage que par des rayons qui partent de l'objet lumineux dans toutes les directions. La vitesse avec laquelle elle se propage est immense, car elle parcourt en une seconde 78,000 lieues et franchit la distance du soleil à la terre en 8 minutes et 13 secondes.

En tombant sur des corps, la lumière se comporte comme les rayons sonores et calorifiques. Nous remarquons trois cas essentiels :

1° Les rayons lumineux sont plus ou moins complètement *absorbés* par les corps sur lesquels ils tombent.

2° Les rayons lumineux sont *réfléchis*.

3° Les rayons lumineux *traversent* les corps.

160. Lorsqu'un corps absorbe tous les rayons lumineux, ceux-ci disparaissent complètement à nos sens, et un tel corps nous apparaît complètement *noir*. Mais en continuant à être exposé aux rayons lumineux, ce corps n'absorbera pas, comme il arrive pour les rayons de chaleur, une certaine quantité de lumière susceptible d'être propagée plus loin. Il y aura donc, du côté opposé à celui où le corps est exposé aux rayons lumineux, manque de lumière ou *ombre*. De tous les corps, le noir de fumée est celui qui absorbe le plus parfaitement la lumière.

161. La plus grande majorité des corps réfléchissent en partie la lumière et en absorbent une autre partie. Les corps denses et surtout ceux qui sont très-luisants et polis réfléchissent le plus complètement la lumière. Cette propriété diminue dans les autres corps à mesure qu'ils deviennent moins denses, plus poreux et plus rudes. Ce sont surtout les aspérités d'une surface qui concourent à faire absorber beaucoup de lumière, ou bien, comme cela a lieu pour le papier blanc, à rejeter la lumière dans toutes les directions, ce qu'on nomme la *diffusion* de la lumière. Derrière ces corps qui réfléchissent la lumière, il y a également de l'ombre.

C'est uniquement parce que les corps réfléchissent ou dispersent la lumière, que les objets deviennent visibles; et il importe beaucoup, pour l'intelligence de tous les phénomènes de la vue, que l'on se rappelle toujours bien que de chaque point visible de tout objet il part des rayons de lumière dans toutes les directions, et que ce point devient visible parce que quelques-uns de ces rayons parviennent à l'œil de l'observateur.

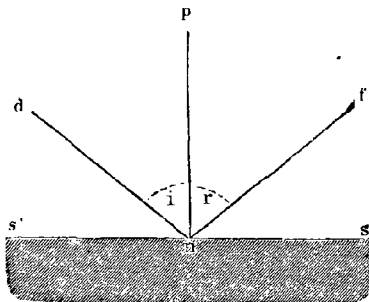


Fig. 138.

Un miroir plan *ss* (fig. 138) réfléchit tous les rayons qui l'atteignent, de telle manière que le rayon incident *d n* forme avec la verticale *p n* le même

162. Les miroirs sont des corps qui réfléchissent les rayons lumineux de la manière la plus complète et la plus régulière. Abstraction faite de la matière dont ils sont construits, nous distinguons : 1° des miroirs *plans* ou *ordinaires* ; 2° des miroirs *creux* ou *concaves* ; 3° des miroirs *saillants* ou *convexes*.

angle que le rayon réfléchi $n f$ et que les deux rayons et la verticale se trouvent sur un même plan. Nous démontrons cette loi au moyen de l'appareil fig. 159. f est un petit miroir dont nous voyons la face postérieure.

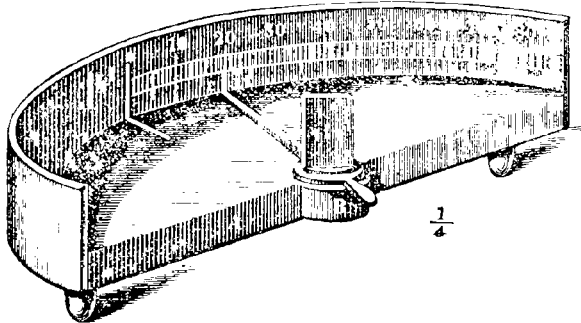


Fig. 159.

L'aiguille bc est perpendiculaire à la face antérieure du miroir et représente la verticale. Elle marque le degré 20 d'un quart de cercle divisé. Lorsqu'il tombe un rayon lumineux sur le miroir par la fente a , il est réfléchi vers le degré 40. Comme l'aiguille tourne avec le miroir sur son axe vertical, on peut démontrer la loi pour tel angle d'incidence qu'on veut. Si l'on met bc sur 50, l'angle d'incidence sera égal 50; l'angle de réflexion est le même, par conséquent, le rayon sera réfléchi en 60.

Il résulte de cette loi que les rayons réfléchis par un miroir divergent

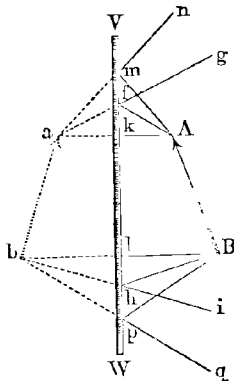


Fig. 140.

de la même manière que s'ils venaient d'un point situé derrière le miroir à une distance égale à celle qui existe en avant entre le corps lumineux et le miroir. C'est pourquoi, d'une manière générale, l'image d'un corps dans un miroir se fait derrière celui-ci à une distance égale à celle du corps devant le miroir. L'image dans le miroir est renversée en ce sens que le côté gauche de l'objet est devenu le côté droit et vice versa. Nous démontrons cela fig. 140, où les rayons lumineux $A k$, $A f$, $A m$ partant du point A d'un objet $A B$, sont réfléchis comme s'ils venaient de a ; il en est de même des rayons émanant du point B , ou d'un point quelconque de l'objet $A B$, et ainsi résulte l'image $a b$. Une telle image se nomme, en optique, *géométrique* ou *virtuelle*.

163. Le miroir ordinaire consiste en une feuille de verre dont les

deux surfaces doivent être aussi planes et parallèles que possible; l'une de ces surfaces est recouverte d'une dissolution de zinc dans le mercure: elle est ce que l'on nomme amalgamée. Des miroirs dont les surfaces ne sont pas parallèles, ainsi que ceux d'une matière impure, donnent des images irrégulières, des visages tirés et sont, par conséquent, à rebuter.

Lorsqu'on place deux miroirs parallèlement en face l'un de l'autre, l'image présentée à l'un se réfléchit dans l'autre, et on obtient ainsi une quantité infinie d'images. Mais lorsqu'on place les miroirs de manière qu'ils forment un angle entre eux, le nombre des réflexions mutuelles diminue, et cela d'autant plus que l'angle formé est plus grand. Le *kaléidoscope* est fondé sur la répétition quintuple de l'image par deux miroirs inclinés l'un sur l'autre sous un angle de 60 degrés.

Indépendamment des usages ordinaires du miroir qui en font, à la vérité, pour beaucoup de monde un meuble indispensable, il trouve encore son application dans plusieurs instruments d'optique.

164. Un miroir concave, ou, comme on dit encore, un miroir grossissant se trouve assez souvent sur un des côtés du miroir en usage pour faire la barbe. Ses usages importants exigent que nous nous occupions avec quelques détails de ses propriétés.

Nous pouvons supposer que chaque miroir concave est comme *VW* (fig. 141), un segment d'une sphère creuse. C'est pourquoi le centre *C* et le rayon *OC* de cette sphère se nomment le centre et le rayon géométriques du miroir concave. Le point *F* situé dans le milieu du rayon se nomme le foyer, et la ligne tracée par le centre *C* et le foyer *F* est l'axe optique de ce miroir. Le point *O* du miroir, que rencontre l'axe lorsqu'on le prolonge, se nomme le centre optique ou de figure.

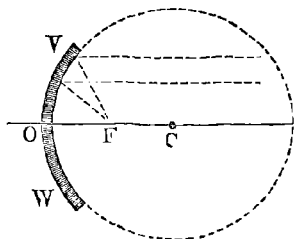


Fig. 141.

Chaque rayon lumineux tombant perpendiculairement sur le miroir concave se nomme rayon principal et est réfléchi dans la même direction, de sorte qu'il passe par le centre *C*. La totalité des rayons marchant parallèlement avec l'axe optique sont réfléchis par le miroir vers le foyer *F*, où ils se rassemblent (Compar. § 153).

165. Partant de ces propriétés du miroir concave, nous pouvons en déduire les effets. Lorsqu'on approche un objet d'un miroir concave, il nous donnera des images différentes, selon qu'on a placé l'objet plus près ou plus loin. Si l'objet, une flèche, par exemple, se trouve entre le foyer et le miroir, on en obtient une image géométrique ou virtuelle agrandie,

qui cependant, comme avec le miroir plan, paraîtra se trouver derrière la surface du miroir.

Mais lorsqu'on place, au contraire, la flèche entre le foyer et le centre géométrique du miroir, on obtient également une image agrandie, mais qui paraîtra se trouver en avant du miroir.

Essayons, à l'aide de la fig. 142, de poursuivre plus attentivement ce phénomène.

Que, de l'objet $A B$, le rayon $A n$ tombe perpendiculairement sur le

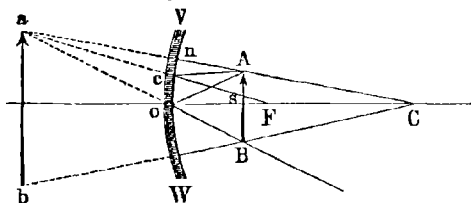


Fig. 142.

miroir, il sera réfléchi dans la direction $n A C$; le rayon $A c$, parallèle à l'axe du miroir, sera réfléchi vers le foyer F . Ces deux rayons réfléchis ne se rencontreront jamais devant le miroir. Mais lorsqu'on se figure leur direction prolongée derrière le miroir, ils se couperont au point a , aussi est-ce en ce point que l'œil verra l'image de A . On peut de la même manière déterminer la situation de tous les rayons lumineux émanant de $A B$, et il en résultera l'image agrandie $a b$ située derrière le miroir.

Dans la fig. 143, où la flèche est placée entre le foyer F et le centre géométrique du miroir C , le rayon $A n$, tombant verticalement, sera réfléchi

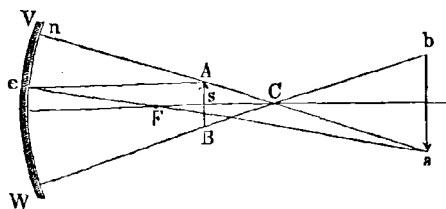


Fig. 143.

dans la même direction. Par contre, le rayon $A c$, parallèle à l'axe optique du miroir, sera renvoyé vers le foyer F . Le point A de l'image $A B$ doit donc apparaître là où les deux rayons réfléchis se coupent, ce qui a lieu en a , comme la fig. 143 nous le montre. On peut démontrer la même chose pour tous les autres points de l'objet, et nous obtenons ainsi l'image agrandie $a b$, qui est renversée et se trouve en l'air devant le miroir.

On peut démontrer facilement que l'image se trouve bien réellement dans l'air, car on n'a qu'à mettre à la place de $a b$ une feuille de papier blanc ; celle-ci absorbera les rayons lumineux, et l'image y sera distinctement visible : c'est pourquoi on nomme une telle image, une *image physique* ou *réelle*.

166. Le miroir concave est fréquemment employé pour des télescopes, qu'on nomme pour cela télescopes à miroir et qui produisent des grossissements extraordinaires ; tel est notamment le célèbre télescope gigantesque de Herschel, qui a cinq pieds de diamètre. (Voir la fin de l'Astronomie.) Ils sont moins en usage dans les derniers temps, parce que leur placement et leur maniement donnent beaucoup d'embarras. En traitant de la chaleur, nous avons déjà mentionné que le miroir concave pouvait servir de miroir ardent. Mais il est, en outre, un moyen excellent d'augmenter l'intensité de la lumière, car tous les rayons lumineux d'une lumière placée dans son foyer sont réfléchis en direction parallèle ; c'est pourquoi on l'emploie pour les lanternes ordinaires, pour les lanternes magiques et pour les phares.

167. Le *miroir convexe* offre peu d'intérêt. Il se nomme aussi miroir divergent, parce que tous les rayons lumineux qui viennent le frapper sont renvoyés en direction divergente. Il donne des images plus petites, ainsi qu'on peut le voir sur des boutons métalliques convexes et bien polis, ainsi que sur ces globes en verre que l'on place souvent en des endroits offrant de beaux points de vue. Il est encore fréquemment employé comme miroir de poche.

168. Réfraction de la lumière. Nous avons vu plus haut qu'il existe des corps qui permettent le passage de la lumière à travers leur masse. Tels sont, par exemple, l'air, l'eau, le verre, en un mot tous ceux qu'on nomme *transparents*. On sait que tous les corps ne possèdent pas cette propriété au même degré ; il y a des corps qui sont demi-transparentes ou translucides, et enfin il en est qui ne le sont que lorsqu'ils sont réduits en fines lames. C'est ainsi que l'or, si dense, devient translucide lorsqu'il est battu en feuilles très-minces. Cependant, pour l'étude de la lumière, les corps parfaitement transparents offrent seuls de l'intérêt.

Tant que les rayons lumineux se propagent dans un milieu homogène, par exemple, dans l'air, leur direction est parfaitement rectiligne et invariable. Mais lorsqu'un rayon lumineux tombe sur une matière transparente d'une densité plus ou moins grande, il ne continue pas à marcher dans sa direction primitive, mais il prend une direction qui forme avec la première un angle plus ou moins grand.

On dit, dans ce cas, que le rayon lumineux est brisé ou *réfracté*, et l'angle indiquant la grandeur de la réfraction se nomme *l'angle de réfraction*.

Les phénomènes ordinaires de réfraction se produisent lorsque la lumière vient de l'espace universel dans l'atmosphère terrestre, qui est plus dense, et de même lorsqu'elle passe de l'air à travers l'eau ou le verre.

Chacun connaît ce phénomène qu'un bâton droit paraît brisé à partir

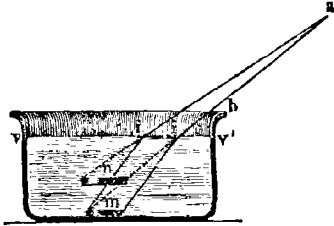


Fig. 144.

du point où il est plongé dans l'eau. Cela dépend de ce que les rayons lumineux qu'il envoie à l'œil subissent, à leur sortie de l'eau, une déviation. C'est ainsi, par exemple, que dans le vase $v v'$ (fig. 144), on ne voit pas l'objet m qui s'y trouve, lorsque le vase est vide et que l'œil est placé en a .

Mais lorsqu'on verse de l'eau dans le vase, les rayons lumineux partant de m vers $i i$ sont réfractés à leur sortie de l'eau, et l'objet paraît à l'œil être situé en n , ainsi beaucoup plus haut. C'est pourquoi, d'une manière générale, les objets plongés dans l'eau, les poissons, etc., paraissent plus rapprochés de la surface qu'ils ne le sont en réalité. Examinons un peu plus attentivement les phénomènes de réfraction avec le secours de la fig. 145.

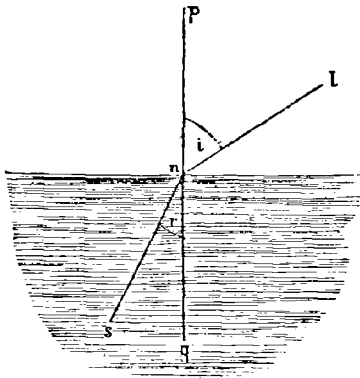


Fig. 145.

ln est un rayon lumineux qui tombe sur une surface d'eau; il est dit *rayon incident*. La perpendiculaire $p n$ se nomme la *normale*; l'angle i , l'*angle d'incidence*; ns est le *rayon réfracté*, et r l'*angle de réfraction*. Toutes ces lignes se trouvent sur un même plan vertical. Entre ces angles il

existe un rapport normal pour toutes les matières réfringentes. Lorsque le rayon lumineux entre dans un milieu plus dense, comme par exemple, de l'air dans l'eau, le rayon réfracté se rapproche du prolongement de la normale $n q$; si le rayon lumineux partait au contraire de s , dans son passage par un milieu moins dense il s'écarterait de la normale $n p$. Plus l'angle d'incidence i est petit, plus le devient aussi l'angle de réfraction r ; lorsque le rayon lumineux tombe perpendiculairement, le premier devient égal à zéro, et le rayon ne subit par conséquent aucune réfraction. Pour confirmer ce que nous venons de dire, nous nous servirons du

vase demi-rond (fig. 146), dont la paroi antérieure *a b* est en verre et enduite d'un vernis noir, à l'exception cependant d'une fenêtre très-étroite

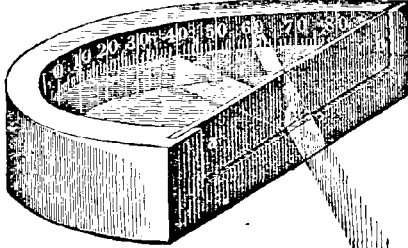


Fig. 146.

située au milieu. Ce réservoir n'est rempli d'eau qu'à moitié. Si l'on fait pénétrer un rayon lumineux à travers la fente de la fenêtre, dans la direction du chiffre 60, la partie supérieure s'y rendra en direction invariable, mais la partie inférieure, qui passe dans l'eau, est réfractée et suit sa direction vers le chiffre 40, ainsi que le représente la figure. La graduation du

cercle démontre dans ce cas une déviation de 20 degrés.

169. Quand un rayon lumineux passe à travers un objet qui n'a qu'une faible épaisseur et des surfaces parallèles, il ne subit qu'une déviation insignifiante. Les carreaux de verre, à travers lesquels les objets nous paraissent à la même place qu'ils occupent en réalité, nous en offrent un exemple.

Mais la chose est toute différente lorsque les surfaces du corps qui laisse traverser la lumière ne sont pas parallèles. Pour des essais de ce genre, on emploie toujours du verre, et même du verre à surfaces courbes. On donne d'une manière générale à ces verres le nom de *lentilles* parce qu'ils ont en partie la forme de la graine de lentille. Ils ont de l'importance, puisqu'ils servent à la composition des lunettes d'approche, des télescopes et des appareils de grossissement.

170. De même que dans les miroirs, on distingue des lentilles qui rassemblent les rayons lumineux et qu'on nomme convergentes, et d'autres qui les dispersent et qui sont appelées divergentes.

Les lentilles *convergentes* sont toujours plus épaisses dans leur milieu ; ce sont les lentilles véritables ou *biconvexes*. Nous avons encore ici un foyer, un centre géométrique et un axe, comme dans le miroir concave ; et selon la position de l'objet, on obtient l'image d'une manière différente. On les nomme lentilles convergentes parce que, tandis que chaque rayon normal passant par leur centre reste invariable, tous les rayons marchant parallèlement à l'axe sont réfractés de manière à se réunir en un point au dehors de la lentille que l'on nomme le foyer de la lentille. Il s'entend que l'on doit considérer à chaque lentille deux foyers, savoir un de chaque côté ; on a l'habitude de les désigner par *F* et *F'*.

Le foyer d'une lentille est facile à trouver en faisant tomber les rayons solaires aussi verticalement que possible sur une de ses faces et en présentant de l'autre côté une feuille de papier. On verra sur celui-ci un cercle lumineux très-clair qui devient plus grand ou plus petit selon la distance à laquelle on place le papier. Quand on tient celui-ci de manière que le cercle lumineux se réduit presque à un point d'une lumière éblouissante, il se trouve alors au foyer de la lentille. A ce point se trouvent également rassemblés les rayons calorifiques qui ont passé simultanément avec ceux de la lumière; aussi y ressent-on une chaleur élevée qui suffit pour enflammer des corps. C'est pourquoi on nomme aussi les lentilles convergentes des *verres ardents*.

Voyons maintenant les effets des lentilles convergentes. Ici encore on peut se rendre compte des images qui se produisent comme nous l'avons fait pour les miroirs. Pour cela il suffit de poursuivre, dans leur passage à travers la lentille, quelques rayons lumineux partant de l'objet. Le point où ses rayons se coupent après la réfraction, ou bien où ils se couperaient s'ils étaient prolongés, est le point où l'objet doit apparaître à l'œil. Dans la

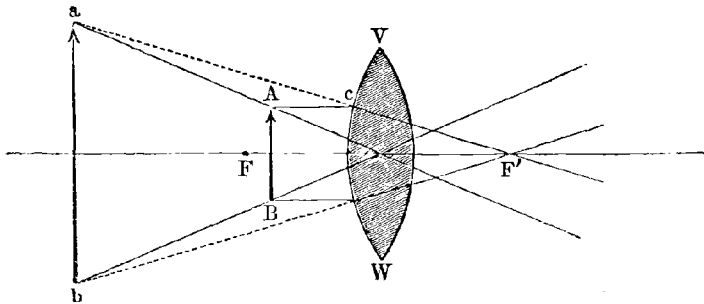


Fig. 147.

fig. 147 nous avons une lentille VW , et l'objet AB se trouve entre le verre et le foyer.

Le rayon lumineux Ac , partant du point A et marchant en direction parallèle avec l'axe, est réfracté de manière à passer par F' ; le rayon normal partant de A par le centre de la lentille reste invariable; ces deux rayons prolongés se coupent en a , où le point A apparaît à l'œil placé de l'autre côté de la lentille. Il en est de même du point B , ainsi que de tous les autres points de l'objet AB , de sorte qu'il en résulte une image *agrandie* ab . Mais lorsque, au contraire, comme dans la fig. 148, l'objet est placé un peu en dehors du foyer F , on obtient de l'autre côté de la lentille une image réelle agrandie, mais renversée, qu'on peut saisir sur le papier. Quand les objets sont très-éloignés, la lentille convergente en donne une

image plus petite et renversée, qui se trouve au foyer lorsque l'objet se trouve à une distance très-considérable, comme, par exemple, le soleil.

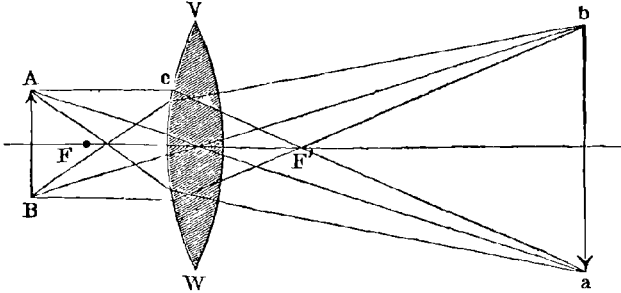


Fig. 148.

171. La *lentille concave* se nomme encore *verre creux*, parce qu'elle présente sur ses deux faces une excavation sphéroïdale (fig. 149). Ses

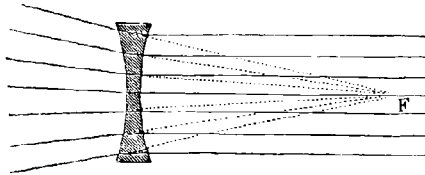


Fig 149.

propriétés diffèrent essentiellement de celles de la lentille convexe, car tous les rayons parallèles à son axe sont réfractés de telle manière qu'à leur sortie ils divergent comme s'ils venaient tous du point *F*.

Lorsque des rayons convergents frappent sur une lentille concave, ils

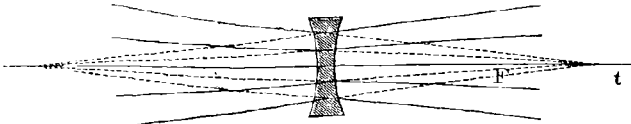


Fig. 150.

sortent soit en direction parallèle (fig. 149), soit en divergeant lorsque les rayons ne convergeaient qu'à un faible degré (fig. 150).

C'est à cause de ces propriétés qu'on nomme encore les verres concaves des verres *divergents*. Les objets vus par une lentille concave paraissent plus petits, comme s'ils étaient éloignés.

172 Les propriétés que nous venons de décrire, donnent aux verres

taillés une importance excessivement grande. C'est ainsi que la lentille biconvexe, prise isolément, est le verre grossissant dans sa forme la plus simple. Elle se nomme alors *loupe* et sert dans les travaux délicats des horlogers, des graveurs sur acier, etc. Elle est encore un instrument indispensable au botaniste et à l'anatomiste.

Par la combinaison appropriée de plusieurs lentilles, on obtient les divers instruments d'optique.

Leur disposition se fonde en général sur ce que des rayons lumineux, partant de l'objet à examiner et passant par une len-

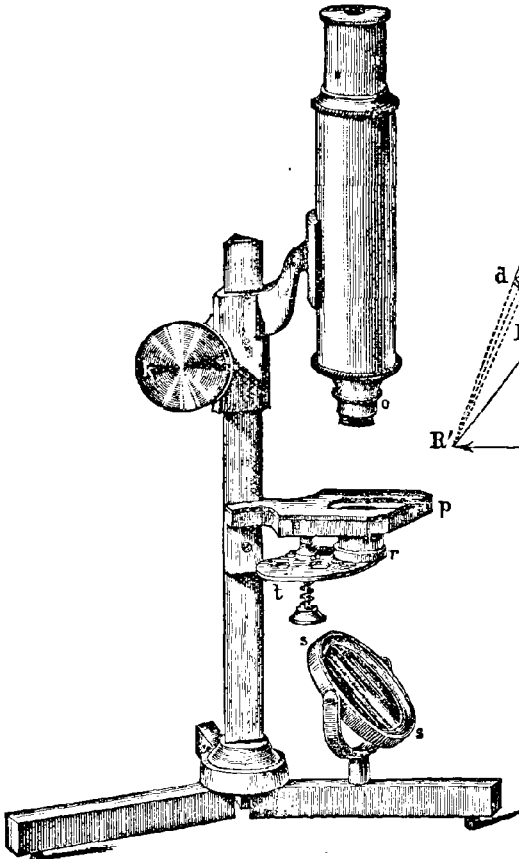


Fig. 151.

du *microscope*, dont la fig. 151 donne l'aspect extérieur et dont la fig. 152 démontre la disposition intérieure. *ab* est l'objectif, *dc* l'oculaire, *s* l'objet, *RS* son image agrandie par l'objectif, *R'S'* est l'image *RS* agrandie

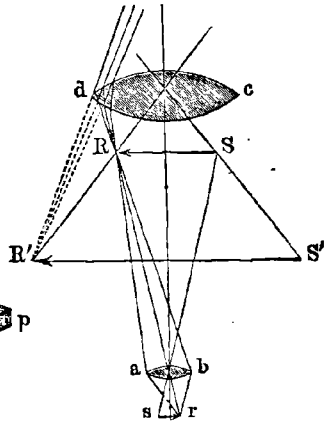


Fig. 152.

tille nommée *objectif*, sont rassemblés en une image que l'on voit agrandie à travers une seconde lentille nommée *oculaire*.

Pour l'exploration d'objets très-petits et rapprochés, on se sert

une seconde fois par l'oculaire. Il n'y a que les objets transparents qui soient susceptibles de grossissements très-considérables. On les place sur de petits plateaux de verre au-dessus de l'ouverture de la table *p*, et ils sont éclairés du dessous par le miroir *s*. Dans l'indication des grossissements du microscope, on ne comprend jamais que l'étendue linéaire. Comme, avec l'augmentation du grossissement, l'intensité lumineuse de l'image diminue, il arrive que les grossissements les plus forts, de 600 à 700 fois, ne sont pas toujours les plus distincts; pour la plupart des recherches microscopiques, un grossissement de 200 à 300 fois suffit. Grâce à eux, on a été mis à même de découvrir des mondes entiers de petits animaux, dont auparavant on ne soupçonnait nullement l'existence, et on a obtenu, sur la structure des plantes et des animaux, les révélations les plus importantes.

173. Mais ce n'est pas pour les choses rapprochées seulement que ces verres ont élargi le regard de l'homme; le lointain aussi, les espaces immenses du ciel se sont découverts à lui et ses mondes se sont rapprochés. Les instruments qui servent à cet usage se nomment *lunettes d'approche* ou *télescopes*. Ceux-ci offrent dans leur disposition de nombreuses différences. Dans le télescope *hollandais* ou de *Galilée* (fig. 153), *v w* est l'ob-

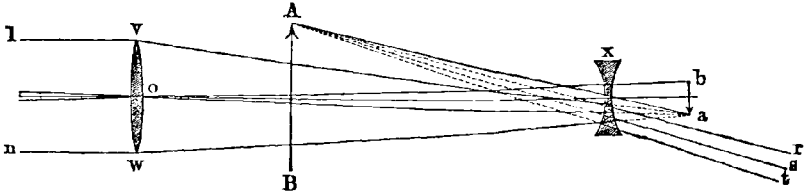


Fig. 153.

jectif, qui donnerait de l'objet éloigné l'image renversée *b a*. Mais comme ses rayons passent par une lentille biconcave *x*, placée comme oculaire, il en résulte l'image agrandie *A B*, qui, étant également renversée, se trouve pour cette raison rendre la position réelle.

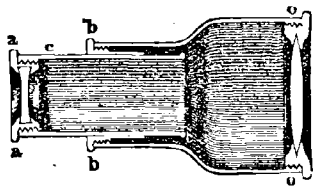


Fig. 154.

Cette disposition est ordinairement appliquée aux lunettes de théâtre ou lunettes d'opéra (fig. 154). Dans le télescope astronomique, l'objectif *v w* (fig. 153) a produit l'image *b a*; mais celle-ci examinée par l'oculaire *x y*, de la même manière que l'on regarde un objet à travers la loupe, se présente alors sous forme de l'image agrandie *B A*. Elle est renversée, ce qui, dans l'exploration des corps célestes, n'est pas un inconvénient. Mais pour l'appliquer aux objets terrestres, on

remplace l'oculaire simple par un système de lentilles qui, au nombre de

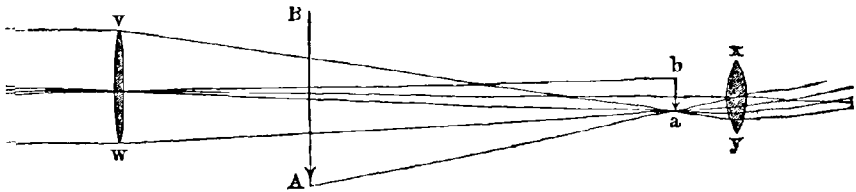


Fig. 135.

quatre, forment, la plupart du temps, l'oculaire composé *o o* (fig. 136), qui non-seulement agrandit l'image, mais place encore l'objet dans sa

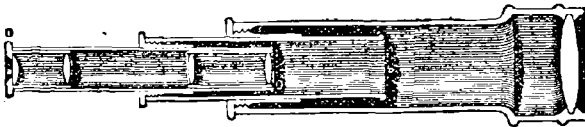


Fig. 136.

position véritable. C'est la disposition du télescope terrestre ou de la lunette d'approche.

Enfin, nous devons encore mentionner le télescope à miroir (fig. 137). Un

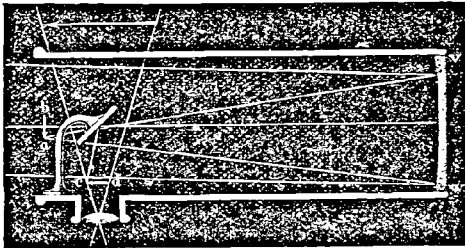


Fig. 137.

grand miroir concave en métal *V W*, placé dans un tube approprié, reçoit les rayons lumineux émanant de l'objet éloigné et produirait l'image *a b*, s'il n'y avait pas un petit miroir placé obliquement dans le tube qui réfléchit les rayons sur le côté, de

façon qu'il en résulte l'image réelle *c d*, que l'on examine à travers l'oculaire grossissant.

C'est à de pareils télescopes que nous devons nos connaissances sur la surface singulièrement configurée de la lune, sur les satellites de Jupiter, sur l'anneau de Saturne et sur beaucoup d'autres choses du domaine de l'astronomie. Mais, sur la terre aussi, le télescope est indispensable à l'ingénieur, au géomètre, au navigateur, au chef d'armée, etc.

Un autre appareil d'optique, qui a acquis de nos jours une grande importance pour la photographie, se nomme la *chambre obscure* ; c'est un compartiment fermé de toutes parts, à l'exception d'une petite ouverture, par laquelle entrent les rayons lumineux et à laquelle on adapte le plus souvent une lentille biconvexe. Au foyer de celle-ci se trouve une surface appropriée qui reçoit l'image réelle de l'objet dont les rayons lumineux traversent la lentille. Sur cette surface, l'image peut être calquée ou bien fixée par la photographie. — Lorsque l'objet est très-fortement éclairé par une lentille convergente, il peut se dessiner sur un mur blanc avec un grossissement extraordinaire, comme cela a lieu avec la lanterne magique, et surtout avec le microscope solaire.

L'art de tailler le verre en lentilles fut d'abord exercé en Hollande. Cependant on ne s'en servait dans le principe que pour des lunettes, jusqu'à ce que, vers la fin du *xvii^e* siècle, Leuwenhoek inventa le microscope. L'invention du télescope est attribuée à Galilée. Mais ces deux instruments ont été essentiellement perfectionnés depuis ce temps, le dernier surtout, par Keppler, Herschel, Newton, Fraunhofer et d'autres.

174. De la vue. Dans aucun de nos organes des sens, l'importance de chaque partie n'est aussi bien connue que dans l'œil. Celui-ci n'est en effet rien autre chose qu'un appareil d'optique assez simple, que l'on étudie le plus facilement en considérant avec attention un œil de bœuf. On peut, notamment, en ouvrant celui-ci, s'emparer de cet organe composé d'une substance gélatineuse, qu'on nomme cristallin et démontrer qu'il se comporte absolument comme une lentille biconvexe taillée dans le verre.

Pour le physicien, le globe de l'œil (fig. 158) constitue une petite chambre

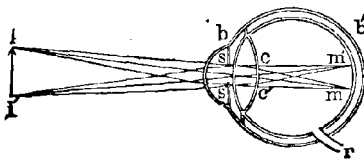


Fig. 158.

ronde fermée par des membranes et tapissée en noir (une chambre obscure), qui est remplie par une substance gélatineuse parfaitement transparente, nommée corps vitré.

La partie antérieure de la membrane qui entoure l'œil, la cornée, est transparente, un peu convexe, et forme la chambre antérieure *b* de l'œil, qui est remplie d'un liquide clair comme de l'eau. Derrière la cornée se trouve la membrane colorée, nommée iris, qui possède dans son milieu une ouverture circulaire *s s*, dite pupille, à travers laquelle les rayons lumineux émanant des objets extérieurs, par exemple, de *l l*, parviennent dans l'œil. Ces rayons lumineux subissent en traversant le cristallin *c c* une réfraction, de sorte que l'image des objets se produit sur la paroi postérieure *m m* de l'œil, constituée par la rétine, d'où elle est transmise à la connaissance par le nerf optique *r*.

Les rayons lumineux émanant de l'objet l subissent déjà une réfraction dans la chambre antérieure de l'œil b , remplie d'un liquide transparent, puis une seconde réfraction dans le cristallin c , d'où se produit entre m et m' une image plus petite de l'objet situé devant l'œil.

On peut démontrer avec un œil de bœuf qu'il en est réellement ainsi.

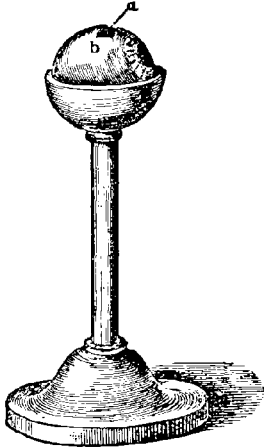


Fig. 159.

On découpe, comme le montre la fig. 159, une petite ouverture b dans sa paroi membraneuse. Si l'on tient ensuite devant la pupille de cet œil un objet, par exemple une bougie allumée, on peut voir distinctement de a une petite image de la bougie sur la paroi postérieure de l'œil.

Il est certain que tous les objets qui se présentent à l'œil forment sur la rétine des images renversées, de sorte que, dans la fig. 158 par exemple, nous voyons l en m et l' en m' , et dans l'expérience avec l'œil de bœuf, l'image de la bougie est renversée. Mais comme depuis la plus tendre jeunesse nous observons à la fois avec le sens de la vue et celui du tact, la perception de l'œil est immédiatement rectifiée par le toucher. La preuve la plus évidente que ce n'est que par le tact et le

mouvement de notre corps d'un lieu dans un autre que nous acquérons des idées justes sur la position des objets et de leur éloignement, se voit chez les enfants et les aveugles-nés qui ne recouvrent la vue que plus tard.

175. Tout homme qui lit dans un livre, tient celui-ci à une certaine distance de l'œil, où les lettres lui paraissent le plus distinctes. On nomme cette distance la *distance de la vue distincte*, et elle est ordinairement, dans l'œil sain, de 25 à 30 centimètres. Dans cette position, il parvient de chaque lettre une image nette directement sur la rétine, comme c'est le cas dans la fig. 158, où les rayons lumineux émanant de chaque point de l'objet l sont réfractés dans l'œil de manière à concourir en un point sur la rétine et à y produire une image distincte. Que l'œil conserve exactement la

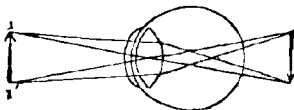


Fig. 160.

disposition représentée fig. 158, et que nous rapprochions maintenant l'objet de l'œil; les rayons lumineux émanant d'un de ses points divergeront si fort, qu'ils ne seront pas suffisamment réfractés dans l'œil pour jeter l'image exactement sur la rétine. Elle tombera derrière celle-ci, qui n'aura qu'une image confuse de l'objet (fig. 160). Si j'éloigne au contraire l de l'œil plus loin que la

distance de la vue distincte, les rayons lumineux qui en émanent convergeront si fort, que leur réunion aura déjà lieu devant la rétine, et que, par conséquent, celle-ci n'en aura également pas une image claire (fig. 161).



Fig. 161.

De cette manière, nous ne devrions voir que d'une manière confuse tout objet qui est plus près ou plus loin que la distance de la vue

distincte. Pourtant cela n'a pas lieu pour l'œil sain, car il voit très-distinctement aussi bien l'objet qu'on éloigne à une certaine distance que celui qu'on rapproche jusqu'à une certaine limite. Cela dépend de ce que les parties réfringentes de l'œil interne, tels que la chambre antérieure et le cristallin, ne sont pas invariables, et que, selon le besoin, elles peuvent se disposer pour la vue au loin et pour la vue de près. Effectivement, lorsque dans l'examen d'un objet rapproché la convexité de la chambre antérieure augmente, elle acquiert un pouvoir réfringent plus grand et l'image peut parvenir sur la rétine. Dans la vue au loin, elle s'aplatit et s'oppose ainsi à la réunion des rayons lumineux devant la rétine.

On nomme cette faculté de l'œil de s'accommoder à la vue au loin et de près, *faculté d'accommodation*.

Cependant, tout œil ne possède pas la faculté de s'accommoder à l'éloignement des objets. Un œil qui regarde fréquemment et d'une manière continue des objets de très-près, acquiert bientôt, surtout dans la jeunesse, une convexité plus grande de la chambre antérieure qui persiste et prive l'œil de la faculté de s'accommoder à des objets éloignés. Il n'obtient de ceux-ci que des images confuses et se nomme *myope*. L'œil est *presbyte*, lorsqu'il est incapable de s'accommoder à la vue distincte des objets que l'on place plus près que la distance de la vue distincte, c'est-à-dire de 25 à 30 centimètres.

La myopie consiste donc dans une réfraction trop forte des rayons lumineux dans l'œil, tandis que la réfraction est trop faible dans la presbytie. On peut corriger artificiellement ces deux défauts, puisque nous possédons dans les lentilles, soit convergentes, soit divergentes, les moyens, soit de rassembler les rayons lumineux émanant d'un objet, soit de les faire diverger.

176. Les lunettes ne sont, par conséquent, pas autre chose que des auxiliaires qui rétablissent une réfraction convenable de la lumière, pour faire arriver sur la rétine une image nette. Nous donnons donc au presbyte des lunettes à verres convexes ou convergents et au myope des lunettes à verres concaves ou divergents.

Nous avons fig. 162 un œil presbyte, et fig. 163 un œil myope, qui tous deux ne reçoivent pas une image nette de l'objet *l* l', l'image de

celui-ci tombant, chez le premier, derrière; chez le second, devant la

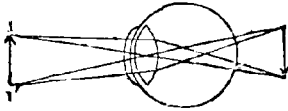


Fig. 162.

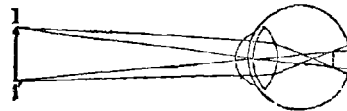


Fig. 163.

rétine. Si nous armons ces yeux des lunettes convenables *m* et *n* (fig. 164 et 165), la lentille convexe produira une réfraction plus forte, la lentille

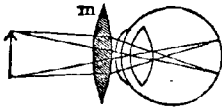


Fig. 164.

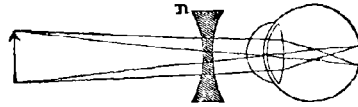


Fig. 165.

concave une réfraction plus faible des rayons lumineux, de telle sorte que les rayons émanant de chaque point de l'objet se réuniront de nouveau exactement sur la rétine et y produiront une image distincte.

Il va de soi que pour les différents degrés de myopie ou de presbytie il faut des lunettes de nature différente, suivant l'intensité du défaut.

La cécité peut provenir de la paralysie du nerf optique, et on désigne cette affection incurable sous le nom d'amaurose. Mais souvent la cause de la cécité est ce qu'on nomme la cataracte, qui consiste en un trouble ou une opacité survenus dans le cristallin. Dans ce cas, la guérison devient possible, lorsqu'une main sûre et exercée perce les membranes de l'œil avec un instrument tranchant et piquant, en extrait le cristallin opaque à travers la pupille ou bien l'abaisse seulement dans la profondeur, de manière que la lumière puisse pénétrer sur la rétine à travers la pupille. Mais pour que les rayons lumineux qui tombent maintenant dispersés soient réfractés et parviennent réunis sur la rétine, il faut que l'œil opéré soit muni de lunettes à verres fortement convergents.

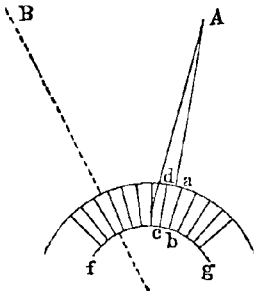


Fig. 166.

particulière (fig. 166). Sur la rétine demi-sphérique *f g*, se trouvent un grand nombre de cônes creux, comme *a b*, *c d*, à travers lesquels tombent,

des différents points des objets, des rayons lumineux sur la rétine. Ces animaux ne peuvent voir les objets que de très-près, et ceux-ci doivent leur paraître comme à nous lorsque nous regardons à travers un grillage en fil de fer. Chaque cône est revêtu supérieurement d'une membrane transparente, et cet œil représente ainsi un hémisphère limité par une quantité de facettes, dont le nombre s'élève de 12,000 à 20,000. Tous les insectes, nos mouches par exemple, ont des yeux de cette espèce. Quelques-uns cependant possèdent, à côté des yeux à facettes, des yeux à lentilles; de ce nombre sont, par exemple, les araignées.

177. Angle visuel. Grandeur apparente et réelle. Ainsi que nous venons de le démontrer, tout objet accessible à la vue envoie dans l'œil

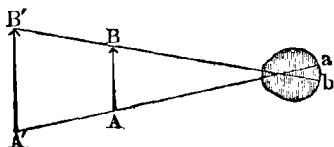


Fig. 167.

des rayons lumineux qui produisent sur la rétine une image. Celle-ci est transmise à notre connaissance par le nerf optique, et c'est d'après la grandeur de l'image que nous apprécions la grandeur de l'objet. Figurons-nous deux lignes partant des

deux extrémités *a* et *b* (fig. 167) de la petite image formée sur la rétine et se dirigeant vers les extrémités correspondantes de l'objet : ces deux lignes se couperont et formeront ce qu'on nomme l'*angle visuel*, dont la grandeur dépend de celle de l'image sur la rétine. On peut donc dire aussi que la grandeur apparente d'un objet s'exprime par la grandeur de l'angle visuel sous lequel il apparaît. Plus l'angle visuel est grand, plus l'objet nous paraît grand; c'est une règle générale.

La grandeur de l'angle visuel dépend évidemment de deux choses; savoir, en premier lieu, de la grandeur réelle de l'objet et, en second lieu, de son éloignement de l'œil. Par rapport à ce dernier, il existe la loi suivante : endéans certaines limites la grandeur de l'angle visuel, sous lequel un objet apparaît, diminue à mesure que la distance augmente. C'est pourquoi le même objet, à une distance double, n'aura que la moitié; à une distance triple, que le tiers de la grandeur qu'il possède à une distance simple.

C'est pour la même raison que, dans deux rangées d'arbres parallèles, les plus éloignés paraissent se rapprocher, parce que leur distance réciproque apparaît à l'œil sous un angle plus petit. Des illusions diverses dépendent de cette circonstance, et ce n'est que l'exercice et l'habitude qui nous ont insensiblement appris à juger de la grandeur réelle d'un objet connu d'après sa grandeur apparente. Dans le crépuscule, qui efface les contours des objets, il arrive facilement qu'un clocher ou un arbre éloigné nous fasse l'effet d'un homme placé à proximité de nous ou réci-

proquement, parce que l'angle visuel de l'objet élevé, mais éloigné, peut être le même que celui d'un objet moins élevé, mais plus rapproché.

De ce qui précède, on peut tirer deux conclusions, dont l'application joue un grand rôle, surtout en astronomie, savoir, en premier lieu, que, la grandeur apparente et la distance d'un objet étant connues, on peut en calculer la grandeur réelle, et, en second lieu, que, la grandeur réelle et la grandeur apparente d'un objet étant déterminées, on peut en déduire la distance.

178. Puisque nous percevons avec un œil les phénomènes de la vue dont nous venons de parler, il paraîtrait naturel qu'avec deux yeux nous les visions en double. En effet, il se produit dans chaque œil une image de l'objet regardé; si cependant nous ne le voyons pas en double, cela n'a lieu qu'à la condition que nous le fixions, c'est-à-dire que nous le tenions fixement à l'œil. Alors les axes des deux yeux se dirigent vers l'objet, les images qui se produisent dans les rétines tombent sur ce que l'on nomme *les places identiques* et se réunissent en une seule image. Mais aussitôt que nous regardons un objet sans le fixer attentivement, nous le voyons réellement en double.

Il faut ensuite observer qu'en raison de leur distance réciproque, l'œil gauche perçoit de l'objet regardé une idée qui correspond à sa position et qui est par conséquent un peu différente de l'image formée dans l'œil droit. Nous regardons de cette manière chaque corps de deux points de vue à la fois, et c'est précisément par là que nous en obtenons l'image avec ses reliefs. Un dessin qui n'a été pris que d'un point de vue ne peut jamais faire sur nous l'impression du relief; ce n'est qu'avec le concours de notre imagination que des dessins d'architecture ou de paysage nous produisent un semblable effet. Mais lorsque nous faisons d'un objet deux dessins pris de points de vue correspondant à la position de nos deux yeux; lorsque ensuite, à l'aide d'un appareil optique approprié, qu'on nomme *stéréoscope*, nous parvenons à faire parvenir ces images simultanément sur les places identiques de la rétine, elles se réunissent en une image stéréoscopique qui nous fait l'effet complet d'un objet en relief.

179. La rétine retient pendant quelque temps avec une certaine force toute impression lumineuse qu'elle a reçue; il faut d'autres impressions pour l'effacer. C'est sur la persistance de cette impression sur la rétine que se base l'expérience connue de décrire des cercles de feu en faisant tourner rapidement un charbon incandescent, ainsi que l'effet des fusées et d'autres merveilles des feux d'artifice. C'est encore ainsi que s'expliquent les effets charmants que produisent certains appareils, tels que le phénakistoscope, le thaumatrope, dont on a du reste fait des applications ingénieuses à la démonstration du mouvement d'ondulations. (V. §. 120.)

Les images accidentelles sont encore plus curieuses. Elles naissent lorsque, par exemple, on aura regardé attentivement pendant quelque temps contre le ciel clair la croix foncée que forme le châssis d'une fenêtre et qu'on ferme alors les yeux ou qu'on les dirige vers le plafond blanc de la chambre. Dans le premier cas, il apparaîtra une image accidentelle correspondant à l'objet fixé; dans le second cas, on voit au plafond une croix claire au milieu de carreaux de vitre foncés; ainsi les impressions lumineuses sont renversées.

Ici se rangent les phénomènes curieux des *couleurs accidentelles ou de contraste*. Que l'on place un petit carré de papier rouge vif sur un fond blanc, qu'on le fixe pendant quelque temps et qu'ensuite on dirige les yeux sur une surface blanche, il se produira sur celle-ci un carré de même dimension, mais de couleur verte; réciproquement, la couleur verte produira une image accidentelle rouge; la couleur violette est suivie de jaune, la bleue de couleur orange. On explique ainsi les effets divers que produisent diverses couleurs juxtaposées, et il en résulte la règle pratique que les couleurs de contraste placées l'une à côté de l'autre se suspendent mutuellement et produisent un effet agréable.

Comme les phénomènes dont nous venons de parler en dernier lieu ne peuvent être perçus que par l'observateur lui-même, on les a désignés sous le nom de *phénomènes lumineux subjectifs*.

180. Illusion optique. Mirage. Fata Morgana. Il se rencontre quelquefois dans la nature un ensemble de conditions qui concourent à donner lieu à des mirages remarquables qui ont été décrits par les voyageurs comme des phénomènes d'un effet féérique ou miraculeux.

Pour ce phénomène, il faut de grandes plaines sur lesquelles se trouve une couche d'air excessivement tranquille, de sorte que les couches inférieures, en s'échauffant et en se raréfiant après le lever du soleil, ne se mélangent qu'insensiblement avec les supérieures qui sont plus denses. Lorsqu'il se trouve dans ces plaines des objets saillants, il en parvient, comme on le voit fig. 168, deux images dans l'œil de l'observateur, la première, formée par les rayons lumineux qui vont directement de h vers p , mais, comme d'autres rayons partant de h subissent, dans les couches atmosphériques moins denses c , c' , c'' , c''' , une réfraction telle, qu'ils se dirigent vers m et plus loin, il arrive à l'observateur, de la direction z , une seconde image, mais renversée, de l'objet. Entre les deux images se trouve une couche d'air, de sorte que l'ensemble produit une telle impression, que l'on dirait voir toute une série d'objets, tels que des arbres, des collines, des tours, etc., qui se mirent dans un lac ou une mer.

Ces mirages sont, en raison de la nature de la contrée, fréquents surtout dans les déserts d'Égypte, et occasionnent souvent aux voyageurs les plus

cruelles déceptions, parce qu'au milieu du sable brûlant ils croient voir une eau rafraîchissante, qui, malheureusement, disparaît à mesure qu'ils s'en approchent.

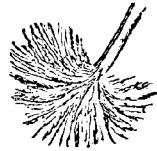
Il y a quelques modifications de ces mirages que l'on aperçoit, à la vérité plus rarement, à la surface des mers et dans d'autres endroits.

On observe aussi quelquefois des cercles autour du soleil et de la lune, ainsi que des



Fig. 168.

soleils et des lunes accessoires, lorsque ces corps célestes se montrent à travers des voiles nuageux très-minces qui recouvrent le ciel. Les causes de ce phénomène paraissent encore ici résider en partie dans la réflexion de la lumière.



181. Les couleurs. Lorsque, à l'aide d'un petit miroir, on fait passer un rayon lumineux à travers l'ouverture *b* (fig. 169) d'un volet dans une

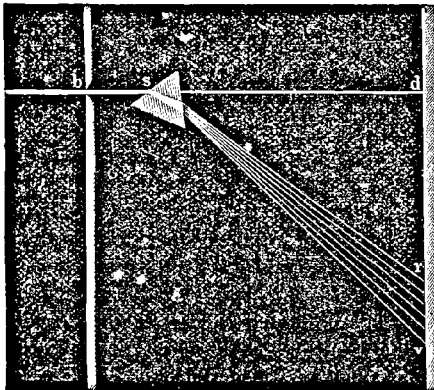


Fig. 169.



Fig. 170.

chambre tout à fait obscure, ce rayon formera sur la paroi opposée une tache arrondie et blanche *d* (fig. 170). Mais si l'on place derrière l'ouverture

un *prisme* en verre, dont *s* montre la coupe, le rayon lumineux n'aura pas seulement considérablement dévié de sa route, mais nous obtenons

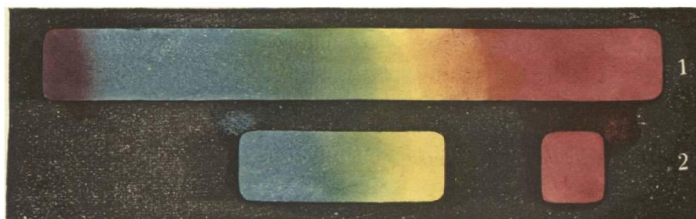


Fig. 171.

encore entre *r* et *v* une image lumineuse allongée qui se compose d'une succession de magnifiques couleurs. Inférieurement en *v* se montre un ruban violet, suivi de rubans bleu-indigo, bleu, vert, jaune, orange et enfin rouge. Ce sont les mêmes couleurs, placées dans le même ordre, que celles de l'arc-en-ciel : on les nomme pour cela couleurs *prismatiques* ou de l'arc-en-ciel. Dans la fig. 171, le ruban supérieur nous montre l'image complète de ces couleurs prismatiques, qu'on nomme encore *spectre solaire*.

Le rayon lumineux blanc du soleil a donc été non-seulement réfracté par le prisme, mais il a encore été en même temps *décomposé* en sept rayons lumineux de couleur différente. C'est pourquoi nous nommons encore ce rayon blanc la lumière *composée* ou mélangée, parce qu'elle est formée de sept rayons lumineux *simples*. La possibilité de décomposer la lumière dépend de ce que ses éléments sont *réfrangibles à divers degrés*. Car si nous regardons le spectre solaire (fig. 171), nous voyons que la lumière rouge est plus près de l'image blanche, qui se produit sans réfraction, que la couleur violette. La première est donc la moins réfrangible, la seconde l'est au plus haut degré. La réfrangibilité différente résulte de ce que les ondes lumineuses des rayons simples ont une longueur inégale, de même que la diversité des sons dépend de l'inégalité des ondes sonores.

Lorsqu'on rassemble les sept rayons colorés émanant du prisme au moyen d'une lentille biconvexe, ils se réunissent de nouveau dans le foyer de celle-ci en une lumière blanche. Cette expérience peut encore s'établir en collant sur le cercle d'un disque des segments égaux de papier de couleur, dont les couleurs ressemblent autant que possible à celles du spectre solaire. Lorsque le disque est mis en rotation, les impressions de ces couleurs se mélangent dans l'œil et la surface diversement colorée du disque paraît blanche.

Les corps blancs sont donc ceux qui réfléchissent tous les rayons lumineux dans leur mélange primitif, tandis que les corps noirs les absorbent. Mais il existe à peine un corps chez lequel l'un ou l'autre de ces cas se présente d'une manière complète. De là naissent les degrés intermédiaires du blanc au noir, en passant par le gris.

Mais il y a aussi des corps où les molécules ont une disposition particulière en vertu de laquelle ils ne peuvent suspendre complètement que les ondulations de certaines ondes lumineuses, tandis que certaines ondes lumineuses sont réfléchies intégralement. Un corps rouge, par exemple, annihile tous les rayons lumineux colorés de la lumière mélangée qui le frappe et ne réfléchit que le rouge. C'est ainsi que nous expliquons toutes les autres couleurs des corps, comme le bleu, le vert, le jaune, etc.

182. Certains corps ne paraissent colorés que lorsqu'on les regarde à travers une masse assez grande. Il en est ainsi, par exemple, pour le verre et pour la glace; en feuilles minces, ils paraissent incolores, et en masses plus épaisses, ils paraissent bleus ou verts. L'air aussi, considéré dans une couche de la hauteur de l'atmosphère, a une belle couleur bleue. Si elle n'existait pas, l'espace céleste paraîtrait noir. En effet, sur de très-hautes montagnes, le ciel paraît d'un bleu très-foncé, parce que, à travers la couche d'air moins élevée et moins dense qui les recouvre, le noir de l'espace universel pénètre. Mais dans la plaine également, le ciel au-dessus de nos têtes paraît d'un bleu plus foncé qu'à l'horizon, parce que, en regardant ce dernier, le regard plonge dans une couche d'air d'une plus grande étendue que celle qui est au-dessus de nous. Des montagnes éloignées prennent leur coloration bleue par la couche d'air considérable qui se trouve entre elles et notre œil.

La couleur rouge et jaune du ciel que nous remarquons souvent dans la soirée, et quelquefois dans la matinée, est attribuée à la vapeur aqueuse que l'air contient. Celle-ci possède, surtout au moment de passer de la forme nébuleuse à la forme de vapeur véritable, la propriété de ne permettre le passage qu'à la lumière rouge ou jaune. Cette conversion en vapeurs a lieu le matin et le soir.

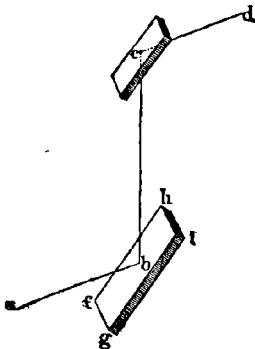


Fig. 172.

183. Polarisation de la lumière. En fig. 172, ab est un rayon lumineux qui tombe sous un angle de 35 degrés sur une glace $fgih$, noircie à sa face postérieure et formant par conséquent un miroir qui réfléchit le rayon incident ab dans la direction bc . Celui-ci rencontrant alors un

deuxième miroir tout à fait semblable au premier et parallèle avec lui, est réfléchi dans la direction $c d$ et devient visible à l'œil qui se trouve en d . On comprend que ces trois rayons se trouvant sur un même plan vertical. Si on tourne maintenant, en lui conservant toujours le même angle d'inclinaison, le miroir supérieur autour de la ligne $b c$, qui représente la direction du rayon réfléchi, l'angle que le rayon incident $b c$ forme avec la surface du miroir reste invariable, mais les deux miroirs ne sont plus parallèles entre eux, leurs surfaces de réflexion ne coïncident plus. Si, dès que l'on commence à tourner, on suit des yeux le rayon réfléchi $c d$, on observe que l'intensité de sa lumière diminue insensiblement et qu'elle disparaît totalement lorsque le miroir supérieur aura été tourné de 90 degrés, de telle sorte que les plans de réflexion des deux miroirs seront rectangulaires entre eux. Si l'on continue de tourner, le rayon réfléchi $c d$ apparaît de nouveau, et il acquiert son intensité complète lorsque, par la rotation, on atteint 180 degrés; alors les deux surfaces de réflexion coïncident encore une fois. En continuant la rotation, le phénomène décrit se répète de la même manière, car, à la rotation de 270 degrés, les surfaces de réflexion se croisent de nouveau à angle droit et le rayon réfléchi disparaît. Après la rotation complète, le rapport primitif est rétabli.

La lumière a donc subi, par la réflexion du premier miroir, une modification; elle n'est plus, comme le rayon primitif, réfractée par un second miroir à toute position quelconque. Cette modification se nomme *polarisation*, et la lumière ainsi modifiée se nomme *lumière polarisée*.

Il faut encore observer que des miroirs métalliques, ainsi que des miroirs ordinaires, ne polarisent pas la lumière. Par contre, celle-ci subit également une polarisation par réfraction, surtout en passant à travers des cristaux. Pour des expériences de ce genre, on se sert très-avantageusement de petites plaques minces de cristal, taillées; on emploie, pour cet usage, des cristaux d'un minéral connu sous le nom de tourmaline.

Nous ne pouvons pas poursuivre ici plus en détail les phénomènes de la polarisation, qui appartiennent aux faits les plus délicats de la physique. Comme ils peuvent aussi donner naissance à des couleurs, ils représentent encore une des parties les plus attrayantes de l'optique. Mais nous devons en faire mention, car on y a fréquemment recours en cristallographie, comme aussi pour différencier certaines matières chimiques, ainsi que pour distinguer la lumière primitive et réfléchie dans les corps célestes.

VII. Magnétisme.

184. Un minéral de fer assez généralement répandu possède la propriété caractéristique d'attirer de petites particules de fer, par exemple de la limaille de fer, de telle sorte que celle-ci reste adhérente à différents endroits de sa surface. Ce fait était déjà connu dans l'antiquité, et l'on fait dériver le nom par lequel on désigne ce phénomène, de la ville de Magnésia, où il aurait été observé pour la première fois. Ce minéral se nomme *aimant naturel* ou *Pierre d'aimant*, et il abonde tellement en Suède, qu'on s'en sert pour en extraire du fer. Outre le fer, l'aimant attire

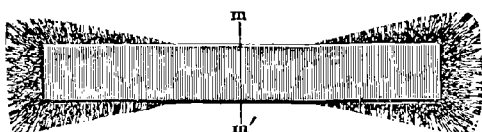


Fig. 173.

encore le nickel. Mais celui-ci étant difficile à maintenir à l'état métallique pur, nous considérerons exclusivement l'action de l'aimant sur le fer.

185. La propriété magnétique de l'aimant naturel peut facilement être communiquée à l'acier, lorsqu'on frotte celui-ci d'une certaine manière avec l'aimant naturel. L'acier magnétisé se nomme alors *aimant artificiel*, et comme on peut donner à celui-ci toutes les formes qu'on veut,

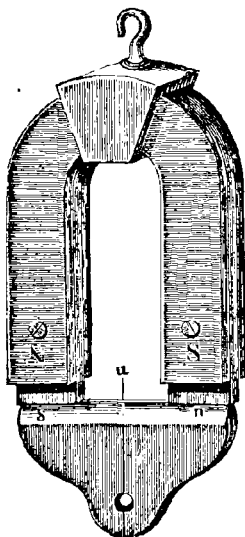


Fig. 174.

la plus grande partie de celle-ci s'attachera aux deux extrémités, tandis qu'il ne s'en fixera pas un grain dans le milieu (fig. 173). Ces deux extrémités, où se manifeste l'attraction la plus grande, se nomment *les pôles*, et l'endroit *m m'*, où il n'y a pas du tout d'attraction, se nomme *l'équateur* ou *la ligne neutre* de l'aimant. Ce fait peut se démontrer sur tous les aimants naturels ou artificiels, quelle qu'en soit la forme. Dans les aimants de conformation régulière, les pôles se trouvent aux deux extrémités opposées, et l'équateur se trouve au milieu, entre les deux.

On donne ordinairement aux aimants la forme d'un fer à cheval (fig. 174); de cette manière les deux pôles *N S* se trouvent l'un à côté de l'autre, et peuvent agir avec

leurs forces réunies sur un morceau de fer qu'on nomme *ancree*, et qui est pourvu d'un trou pour y suspendre des poids. On augmente l'intensité de l'action en plaçant plusieurs aimants les uns à côté des autres par leurs pôles de même nom et en les réunissant par une gaine, comme le montre notre figure.

D'autres expériences ont démontré que l'attraction magnétique agit encore sur le fer à travers des matières interposées et que sa force diminue en raison du carré de la distance.

186. Lorsqu'une barre aimantée, mince et effilée vers ses extrémités, ce qu'on nomme une *aiguille aimantée* (fig. 175), est suspendue de telle

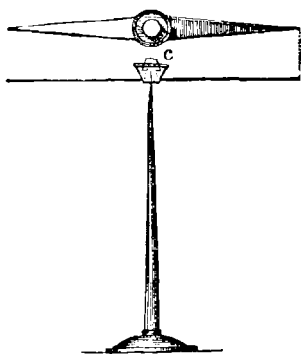


Fig. 175.

manière qu'elle tourne librement sur un axe vertical, elle prend, après plusieurs oscillations à droite et à gauche, finalement une position déterminée, à laquelle elle revient toujours, chaque fois qu'on l'en dérange. Cette position est telle, qu'une des pointes de l'aiguille se dirige toujours vers le Nord et se nomme pour cette raison *pôle nord* ou *boréal*, tandis que l'autre extrémité, dirigée vers le Sud, se nomme *pôle sud* ou *austral* (*).

Grâce à cette propriété, l'aimant a trouvé, depuis le commencement du *xiv^e* siècle, une application très-importante comme *boussole*, instrument simple qui sert, dans des circonstances où d'autres auxiliaires manquent, à déterminer les directions, comme sur mer, dans de grandes forêts et dans les mines.

187. Lorsqu'on approche du pôle sud d'une aiguille aimantée, placée comme dans la fig. 175, le pôle sud d'une autre aiguille aimantée, la pointe de l'aiguille mobile fuit. Mais lorsqu'on approche, au contraire, de son pôle sud le pôle nord d'un second aimant, elle va à sa rencontre, jusqu'à ce que les deux aiguilles se touchent et adhèrent l'une à l'autre. Nous en déduisons cette loi relative aux actions réciproques qui s'exercent entre deux aimants : *les pôles de même nom se repoussent, ceux de nom contraire s'attirent.*

(*) Voulant conserver fidèlement le rôle de traducteur, j'ai maintenu les dénominations employées par l'auteur allemand. Je crois cependant utile de faire remarquer que des auteurs français, entre autres M. Ganot, nomment le pôle de l'aiguille qui regarde le nord, pôle austral, et celui qui regarde le sud, pôle boréal, parce qu'ils sont respectivement attirés par le fluide boréal et par le fluide austral de la terre. L'auteur allemand semble approuver cette manière de voir, ainsi qu'on s'en assurera plus loin.

(Note du Traducteur.)

188. Lorsqu'on place deux barres d'aimant de même force l'une sur l'autre, de telle sorte que leurs pôles contraires se touchent, la limaille de fer n'y adhère plus, leur force magnétique paraît suspendue. Si les deux aimants réunis de la même manière ont une force inégale, il reste, à la vérité, de l'attraction, mais celle-ci est considérablement plus faible que celle de chaque aimant prise isolément. Deux aiguilles aimantées réunies à un axe commun par leurs pôles opposés, ont perdu leur force de direction, si elles étaient de force égale, et au moins une forte partie si elles étaient de force inégale. On voit par ces expériences qu'il y a dans chaque aimant deux forces qui agissent en sens opposé, à peu près comme en arithmétique les valeurs positives et les valeurs négatives.

L'expérience suivante est surtout frappante : une aiguille à tricoter en acier a été rendue magnétique par des frictions, à tel point qu'à ses deux pôles il s'attache des faisceaux de limaille de fer. Si l'on coupe maintenant cette aiguille en deux, chaque moitié devient un aimant complet avec deux pôles; on peut même continuer cette division en morceaux aussi petits qu'on veut, et l'on obtient autant d'aimants possédant deux pôles actifs. Il en résulte que la propriété magnétique d'un aimant réside dans chacune de ses parties, quoiqu'elle ne se montre active que vers les pôles.

Lorsqu'on suspend au pôle d'un aimant un morceau de fer, celui-ci acquiert des propriétés magnétiques, car, non-seulement son extrémité libre attire de la limaille de fer, mais à cette première tige de fer on peut encore en suspendre une seconde, à celle-ci une troisième, et ainsi de suite, et former ainsi une chaîne de petits aimants. Mais aussitôt qu'on retire le premier morceau de fer de l'aimant, il a perdu sa propriété magnétique, et la chaîne se rompt. On voit par là que, sous l'influence d'un aimant, le fer devient momentanément magnétique.

189. En raison des phénomènes qui précèdent, on a essayé d'expliquer l'essence du magnétisme, en admettant que toutes les plus petites molécules de fer ont deux pôles magnétiques et sont ainsi de petits aimants. Chaque morceau de fer consiste, par conséquent, en un grand nombre de très-petits aimants, qui ne manifestent cependant aucune action magnétique parce qu'ils se touchent par leurs pôles de nom contraire et se suspendent ainsi réciproquement. Ces petits aimants entremêlés apparaissent comme les cases noires et blanches d'un échiquier, représentant le pôle nord et le pôle sud, et distribués d'une manière si régulière, que nulle part il ne prédomine une couleur.

Mais si j'applique, comme il est dit plus haut, au pôle sud de l'aimant, par exemple, un morceau de fer, tous les petits aimants qui composent celui-ci reçoivent une direction déterminée, leurs pôles nord étant attirés et leurs pôles sud étant repoussés. Leur disposition correspond

alors à celle représentée fig. 176, où toutes les cases blanches ou les pôles sud sont dirigés à gauche et toutes les cases noires ou pôles nord



Fig. 176.

à droite, de sorte que leurs forces aux deux extrémités s'additionnent et exercent leur action. Mais lorsqu'on enlève le morceau de fer à l'influence de l'aimant la position antérieure des petits aimants se rétablit aussitôt par la répulsion mutuelle des pôles de même nom, et leur action est annihilée.

190. Quelle que soit la ressemblance entre le fer et l'acier, leur action sur l'aimant diffère essentiellement. Dans notre hypothèse, chacun de ces métaux se compose de très-petits aimants. Avec le fer on peut, comme nous venons de le démontrer, produire très-facilement, mais pour un moment seulement, le renversement de ses particules à la simple approche d'un aimant. Il est, par conséquent, fortement attiré par l'aimant, mais lui-même ne devient magnétique que passagèrement.

Dans l'acier, au contraire, une résistance quelconque rend l'alignement des pôles de même nom fort difficile; c'est pourquoi l'acier n'est attiré par l'aimant qu'à un faible degré. Par contre, on parvient à produire dans l'acier d'une manière durable une telle disposition de ses particules, qu'il devient lui-même un aimant parfait. Cela se fait au moyen du frottement par un aimant naturel ou artificiel. On applique le pôle nord d'un aimant sur le milieu d'une barre d'acier, et on frotte à plusieurs reprises vers une de ses extrémités. On répète la même chose, le même nombre de fois, avec le pôle sud vers l'extrémité opposée. L'acier devient alors lui-même un aimant, et ne perd cette propriété que lorsqu'il est fortement échauffé.

Comme nous ne nous figurons pas le magnétisme comme une matière, mais comme une force de direction uniforme, on comprend qu'avec un même aimant artificiel on puisse produire des aimants à l'infini, sans qu'il perde la moindre chose de ses qualités magnétiques.

191. Une aiguille à tricoter en acier d'un calibre uniforme, suspendue par un fil exactement dans son milieu, se tiendra en équilibre et occupera une position horizontale. Mais que par le frottement on transforme cette aiguille en aimant, et qu'on la suspende de nouveau exactement comme auparavant, on s'aperçoit avec étonnement que l'aiguille a perdu son équilibre, car une extrémité penche visiblement vers le sol, comme si elle avait augmenté de poids. Pour lui rendre une position horizontale, il faut la suspendre à un point plus rapproché de l'extrémité qui penche que de l'extrémité opposée.

Cette expérience, aussi bien que la propriété que possède l'aiguille de

se placer constamment dans une même direction qui désigne le Nord et le Sud, font conclure à l'existence d'une cause qui produit ces phénomènes. En effet, la terre elle-même doit être considérée comme un grand aimant. Cependant les pôles magnétiques ne se trouvent pas exactement aux mêmes endroits que les pôles terrestres, et, partant, l'équateur magnétique ne correspond pas avec l'équateur terrestre. Une aiguille aimantée ne reçoit pas seulement sa direction du magnétisme terrestre, mais encore cette attraction qui modifie son équilibre. Comme le pôle nord magnétique de la terre attire le pôle sud de l'aiguille, son extrémité dirigée vers le Nord devrait se nommer son pôle sud et réciproquement.

Lorsqu'on poursuit la direction de l'aiguille aimantée, on ne parvient naturellement pas au pôle nord de la terre, puisque celui-ci ne se trouve pas à la même place que son pôle magnétique. Lorsqu'on prolonge en pensée indéfiniment la direction indiquée par l'aiguille, on obtient un cercle circonscrivant toute la terre et passant par ses deux pôles magnétiques. Ce cercle se nomme le *méridien magnétique*. Celui-ci coupe le méridien passant par les pôles terrestres sous un angle de 48 degrés, qui indique la *déclinaison* de l'aiguille du véritable Nord.

La force attractive que les pôles magnétiques de la terre exercent sur l'inclinaison de l'aiguille doit être très-inégale dans des endroits différents. Car si l'aiguille se trouve à l'équateur magnétique, ses pôles nord et sud

seront attirés avec la même force par les pôles magnétiques de la terre. L'aiguille prendra donc une position exactement horizontale. Mais qu'avec cette même aiguille on se rapproche du pôle magnétique nord ou sud, elle acquiert une inclinaison d'autant plus forte qu'on se rapproche davantage d'un de ces pôles. On s'est effectivement déjà rapproché tellement près du pôle nord, que l'aiguille a pris une direction presque verticale à la surface de la terre. Quand on suspend à un fil, comme dans la fig. 177, une aiguille tournant facilement sur un axe horizontal et placé dans un étrier en cuivre, elle peut prendre la position correspondant à sa déclinaison comme à son inclinaison ; cette dernière est, dans l'Allemagne du centre, de 70 degrés.

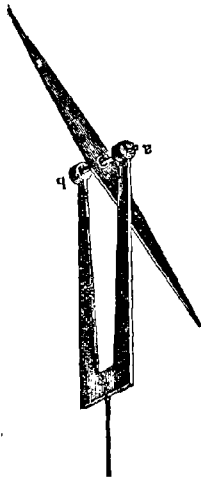


Fig. 177.

192. C'est sans doute à l'influence du magnétisme terrestre, qu'il faut attribuer que des objets en fer ou en acier acquièrent des propriétés magnétiques à un faible degré, lorsqu'on les frotte, qu'on les frappe ou qu'on les tord fortement, surtout quand on les tient alors dans la direc-

tion correspondant à la déclinaison et à l'inclinaison de l'aiguille. On trouve même difficilement dans l'atelier d'un serrurier ou d'un maréchal un outil en acier, auquel n'adhèrent pas quelques grains de limaille de fer.

Quant aux remarquables actions réciproques entre le magnétisme et l'électricité, il ne pourra en être question que lorsque nous nous serons occupés de cette dernière.

VIII. Électricité.

193. Lorsqu'on frotte un morceau de cire à cacheter, de résine ou de soufre avec un morceau de laine, ces corps acquièrent la propriété d'attirer à quelque distance des corps très-légers, tels que de petites balles de liège, de moelle de sureau, de petits morceaux de papier, des cheveux, etc. Voilà le phénomène électrique le plus anciennement connu, car il l'était déjà chez les Grecs, qui l'avaient remarqué sur l'ambre, qu'ils nommaient *electron* ; et c'est de là qu'on fait dériver le nom d'*électricité*.

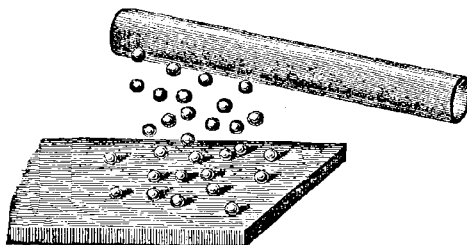


Fig. 178.

Un tube de verre frotté fortement avec un morceau de soie acquiert la même propriété. (Voyez fig. 178.) On dit pour cette raison que ces corps sont électriques par frottement, et la cause de l'attraction est l'électricité dont ils sont doués.

Pendant longtemps on considéra le frottement comme l'unique source de l'électricité. Mais des observations postérieures vinrent démontrer que les causes les plus variées étaient en état de produire des phénomènes électriques, que l'électricité était un des phénomènes les plus répandus et que toute la nature se trouvait constamment sous l'influence d'une action électrique.

Parmi les autres causes capables de faire surgir l'électricité, nous devons mentionner le contact mutuel de deux corps différents, particulièrement de deux métaux différents. Il y a en outre production d'électricité quand les corps changent d'état, surtout dans l'évaporation, ainsi qu'à la suite de combinaisons et de décompositions chimiques. Certains corps accusent des propriétés électriques, lorsqu'on les échauffe à une place tandis qu'on refroidit les places opposées. L'électricité peut encore

être provoquée par le magnétisme ; enfin, certains animaux développent de l'électricité volontairement, d'autres involontairement. L'activité musculaire et nerveuse des hommes et des animaux est toujours accompagnée d'irritation électrique.

Pour les phénomènes ordinaires, ce sont les effets de l'électricité produite par le frottement et par le contact qui sont les plus importants.

ÉLECTRICITÉ PAR FROTTEMENT.

194. Un grand nombre de corps ne deviennent pas électriques par le frottement : on les nomme *non électriques*, par opposition avec les corps *électriques*. Dans les premiers se rangent surtout les métaux ; dans les seconds, les corps que nous avons déjà cités. Cependant, l'observation attentive démontre qu'il n'y a, à strictement parler, pas de corps non électriques, car tous peuvent être mis dans un état électrique, bien que, à la vérité, cet état soit peu marqué pour beaucoup d'entre eux.

Lorsqu'on frotte très-fortement du verre ou de la résine dans l'obscurité, on remarque une apparence lumineuse à leur superficie, et lorsqu'on approche de ces corps frottés une phalange du doigt ou un objet en métal, on voit quelquefois s'échapper une vive étincelle, avec un bruit crépitant, qui occasionne à la partie atteinte du doigt une petite douleur perçante. On nomme ce phénomène *l'étincelle électrique*.

L'électricité ne réside jamais qu'à la superficie du corps électrisé. Au verre et à la résine, on ne l'enlève qu'aux points qui ont été immédiatement touchés. Lorsque, après avoir frotté du verre ou de la résine, on en approche un corps métallique, l'électricité passe dans celui-ci, qui possède alors toutes les propriétés électriques, car il attire des corps légers et il donne des étincelles. Cependant il est remarquable que les métaux perdent subitement et complètement leur électricité, dès qu'ils ont été touchés, ne fût-ce qu'en un seul point. De tels corps, qui enlèvent à la résine et au verre électriques leur électricité, en devenant eux-mêmes électriques, se nomment des corps *conducteurs* ; les autres qui ne le font pas se nomment *non conducteurs*.

Les meilleurs conducteurs de l'électricité sont les métaux. Les liquides, la vapeur d'eau, le corps de l'homme, des animaux, et les plantes vertes sont également d'excellents conducteurs. L'électricité n'est pas du tout conduite ou ne l'est qu'à un degré très-faible par le verre, la résine, la laine, la soie et l'air sec. Un morceau de verre approché d'un corps électrisé quelconque, que ce soit du verre, de la résine ou un métal, ne prend aucune trace d'électricité. On peut donc retenir l'électricité dans un corps en l'entourant de très-mauvais conducteurs. C'est ainsi, par exemple, qu'un corps métallique quelconque, que nous plaçons dans un air sec sur

un plateau de verre ou sur un disque de résine, et auquel nous communiquons ensuite de l'électricité, ne perdra celle-ci que si l'on en approche un conducteur. Des corps entourés de tous côtés par des corps non conducteurs se nomment *isolés*, et les non-conducteurs se nomment *isolants* ou *corps isolants*.

Ainsi que nous l'avons fait pour le magnétisme, nous allons exposer une série d'expériences propres à nous familiariser avec les propriétés essentielles de l'électricité.

195. Lorsqu'on suspend, comme à la fig. 179, une petite balle de liège à un fil de soie, et qu'on en approche un bâton de cire à cacheter qu'on a

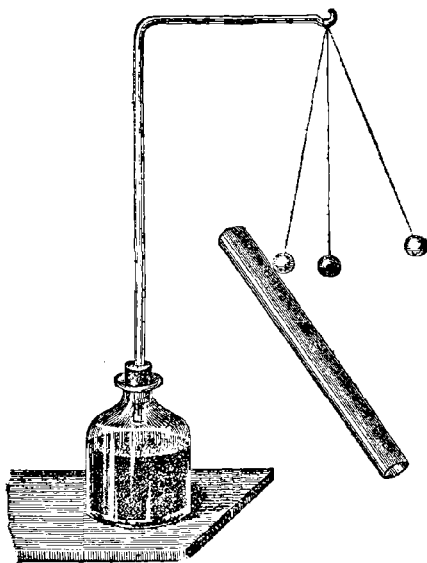


Fig. 179.

préalablement frotté, le liège sera attiré jusqu'à ce qu'il touche la cire. Mais au moment où ce contact a lieu, la balle est repoussée avec violence. Elle s'est emparée maintenant d'une partie de l'électricité de la cire. Si nous en approchons de nouveau un bâton de cire à cacheter frotté, elle ne sera plus attirée, mais, au contraire, elle fuira du côté opposé, et il paraîtra vraiment que les deux corps chargés d'électricité provenant de la résine se *repoussent* mutuellement. Si je prends un tube de verre que je frotte avec de la soie et si je le présente ensuite à la balle de liège, on remarquera que, même

à une distance considérable, celle-ci se mouvra dans la direction du tube de verre; elle sera, par conséquent, *attirée* par l'électricité provenant du verre.

Lorsque je communique à une balle de liège de l'électricité provenant du frottement de la résine et à une autre de l'électricité produite par le frottement du verre, et que je les rapproche jusqu'à ce qu'elles s'attirent, elles auront, immédiatement après le contact, perdu l'une et l'autre leurs propriétés électriques.

De ces expériences fort simples, nous tirons les conclusions suivantes :
1° Il y a deux sortes d'électricité, la première, acquise par le frottement

du verre, se nomme *électricité positive* ou *vitree* ; la seconde, obtenue par le frottement de la résine, se nomme *électricité négative* ou *résineuse*. L'électricité positive se représente par le signe + (plus) et l'électricité négative par le signe — (moins).

2° Les corps chargés d'électricités de même nom se repoussent, ceux contenant les électricités de nom contraire s'attirent.

3° Les électricités de nom contraire ont une tendance continuelle à se rejoindre. Quand cela a eu lieu, l'électricité est réduite à zéro, c'est-à-dire, les propriétés électriques de chacune sont annihilées, ou bien elles se sont réunies de telle sorte, qu'on ne puisse plus y distinguer aucune électricité.

4° Tous les corps contiennent les deux électricités à l'état de réunion ou de combinaison. Elles peuvent se séparer par diverses causes, entre autres par le frottement. Lorsque, dans ce cas, le corps frotté acquiert l'électricité positive, le corps frottant prend l'électricité négative.

L'électroscope (fig. 180) sert à indiquer si un corps contient de l'électricité, et quelle est sa nature.

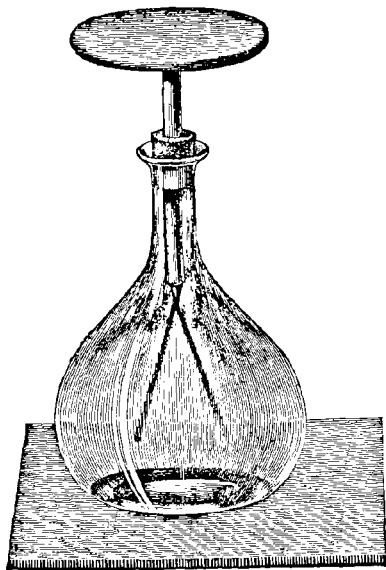


Fig. 180.

Il est disposé de manière à être sensible même pour une très-légère quantité d'électricité. Un petit plateau métallique repose sur une tige métallique qui passe dans un tube de verre, et qui est fixée dans le goulot d'un flacon. Cette tige métallique porte à son extrémité 2 petites lames d'or en feuilles. Cet appareil doit être si sensible, qu'à la simple approche d'un corps contenant de l'électricité libre, les deux lamelles d'or se repoussent, c'est-à-dire s'écartent l'une de l'autre. En communiquant d'abord à l'électroscope une électricité connue, de l'électricité vitree, par exemple, on verra, à l'approche d'un corps chargé d'électricité

de même nom, les lamelles d'or diverger encore plus fort ; tandis que, dans le cas contraire, l'écartement diminuera.

196. Électrisation par influence. Ce que nous avons dit jusqu'ici, doit suffire pour nous faire reconnaître une analogie manifeste entre les

phénomènes du magnétisme et ceux de l'électricité, mais cette analogie ressortira mieux encore des expériences suivantes. Dans la fig. 181, nous

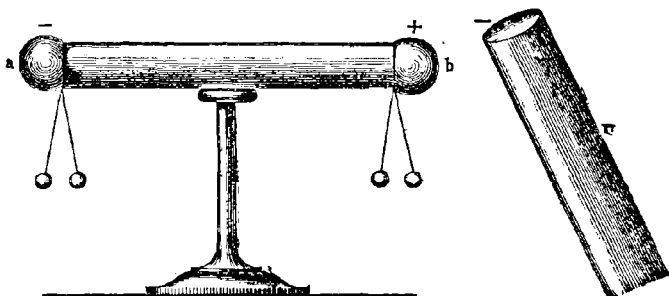


Fig. 181.

voyons un cylindre en laiton poli *a b*, terminé à ses deux extrémités en hémisphères. Il repose sur un pied de verre et se trouve par conséquent isolé. A chacune de ses deux extrémités pendent deux petites balles de liège suspendues à de minces fils métalliques. J'approche de la première paire le bâton de résine *r*, possédant par le frottement de l'électricité négative. On comprend facilement que l'électricité négative de la résine attire l'électricité positive du métal, en repoussant l'électricité négative de celui-ci. De cette manière, les deux électricités qui s'y trouvaient réunies, se sont divisées de telle sorte que l'électricité positive se trouve en *b*, et l'électricité négative en *a*. On peut voir cela aux petites balles de liège; celles en *b* ont acquies toutes deux de l'électricité positive et se repoussent; la même répulsion a lieu pour les balles en *a*, qui sont électrisées négativement. Si j'éloigne de nouveau la résine *r*, la cause de cette séparation cesse, et les deux électricités du métal qui étaient séparées se rejoignent, ce qu'on peut constater à la chute des petites balles.

Si, pendant que le bâton de résine *r* se trouve encore rapproché de *b*, je touche avec le doigt le métal en *a*, l'électricité négative qui s'y trouve sera repoussée à travers mon corps, tandis que l'électricité positive accumulée à l'autre extrémité reste fixée par le bâton de résine. Si j'enlève alors d'abord le doigt, puis la résine, tout le métal sera chargé d'électricité positive, ce que les petites balles indiquent par leur écartement.

Si, au lieu de résine, j'avais pris du verre frotté, les mêmes phénomènes se seraient produits, avec cette différence, que les électricités eussent eu chaque fois le nom contraire. Nous possédons donc dans l'électrisation par influence un moyen de charger un corps isolé à volonté soit d'électricité positive, soit d'électricité négative.

197. L'électrophore (fig. 182) est un appareil très-simple devenant, au moyen de l'électrisation par influence, une source abondante d'électricité.

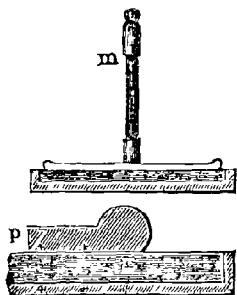


Fig. 182.

Dans un plateau en fer-blanc d'environ un pied de diamètre, on fait couler un mélange de deux parties de résine et d'une partie de térébenthine, de telle sorte que la masse, après le refroidissement, forme un gâteau aussi lisse que possible. On électrise ce gâteau en le battant avec une peau de chat, et on le recouvre de ce que l'on nomme le couvercle. Celui-ci se compose d'un disque en fer-blanc ayant dans son milieu un manche en verre *m*. Considérons maintenant l'effet de l'électrophore, *p* représentant un morceau du couvercle et *g* un morceau du gâteau. Par le frottement, l'électricité du gâteau est séparée de telle sorte, que sur sa face supérieure il s'accumule de l'électricité négative, et à sa face inférieure de l'électricité positive. Dans le couvercle placé sur le plateau, il y a également décomposition de l'électricité, car son électricité positive est neutralisée par l'électricité négative du gâteau. Si je touche la face supérieure du couvercle avec le doigt, l'électricité négative qui s'y est accumulée s'écoule par mon corps. Mais si, après cela, j'enlève le doigt et si je soulève ensuite, par son manche isolant, le couvercle, celui-ci sera chargé d'électricité positive. Je puis alors m'en servir comme je me servais auparavant

de verre ou de résine frottés. Lorsque cet appareil est disposé convenablement et que le couvercle est chargé, il donne une vive étincelle lorsqu'on en approche le doigt.

Lorsque le couvercle a été ainsi déchargé de son électricité, on le charge de nouveau de la même manière. Il est remarquable qu'on peut encore, même après plusieurs mois, obtenir une étincelle en soulevant le couvercle.

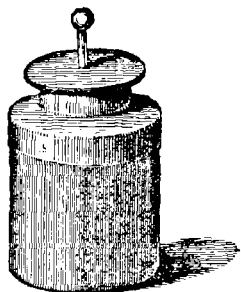


Fig. 183.

198. La bouteille de Leyde ou de Kleist est représentée fig. 183. Elle se compose d'un bocal ordinaire, tapissé intérieurement et extérieurement, jusqu'aux trois quarts de sa hauteur, avec de l'étain en feuilles. L'ouverture est fermée par un morceau de liège ou de bois, à travers lequel passe une tige métallique, terminée supérieurement par une boule et inférieurement par une chaîne qui doit, dans tous les cas, toucher le fond du vase. Lorsque, au moyen de la boule, on fait communiquer l'armature intérieure avec l'une ou l'autre source

d'électricité, par exemple, avec le couvercle de l'électrophore, elle se charge d'électricité positive. Celle-ci agit par influence, à travers le verre, sur l'électricité de l'armature extérieure, en attirant ou fixant une quantité correspondante d'électricité négative et en repoussant l'électricité positive de l'armature extérieure. Cette dernière électricité est conduite, à travers le corps conducteur sur lequel la bouteille repose, dans la terre, sur la vaste surface de laquelle elle se disperse et disparaît.

Le résultat est donc celui-ci : Sur l'armature intérieure et extérieure se trouvent des électricités contraires, que l'interposition du verre empêche de se réunir. Mais au moment où nous faisons communiquer les deux armatures au moyen d'un corps conducteur, les deux électricités se réunissent. Si cette communication est établie par notre propre corps, si, par exemple, tenant d'une main l'armature extérieure, nous touchons la boule de l'autre main, les électricités passent par notre corps et nous ressentons une commotion caractéristique, qui se fait sentir surtout dans les articulations et qu'on nomme *commotion électrique*. Sa force dépend de la quantité d'électricité accumulée ; 40 ou 50 étincelles que l'on fait passer du couvercle de l'électrophore dans la bouteille de Leyde, constituent une charge suffisante pour donner une commotion assez sensible. Lorsque plusieurs personnes forment un cercle, en se donnant la main, et que la première, d'un côté, touche la boule de la bouteille, tandis que la dernière, de l'autre

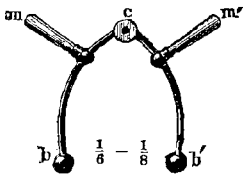


Fig. 184.

rière, toutes les personnes éprouvent, *simultanément*, une commotion de force égale. Le nombre de personnes est parfaitement indifférent.

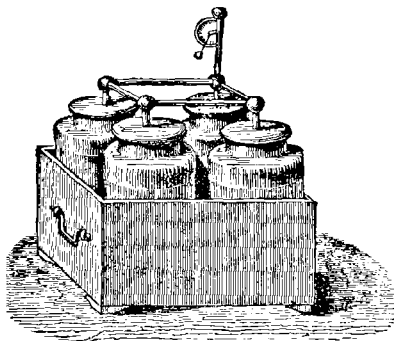


Fig. 185.

199. La réunion de plusieurs bouteilles de Leyde constitue une

Mais on peut également décharger la bouteille, sans éprouver soi-même la commotion. On se sert pour cela de l'*excitateur* (fig. 184), composé de deux arcs de laiton réunis par une charnière et pourvus de manches en verre *m, m'*. En tenant l'instrument par ceux-ci, et en appliquant d'abord la boule *b'* sur l'armature extérieure, puis touchant avec l'autre boule *b* la boule de la bouteille chargée, les électricités se réunissent avec dégagement d'une vive étincelle.

batterie électrique (fig. 185), qui, lorsqu'elle est fortement chargée, peut donner des commotions d'une force terrible. Les étincelles jaillissent alors déjà à une distance de plusieurs pouces et avec une détonation violente.

On peut tuer des animaux par de telles décharges. Si l'on fait passer l'étincelle par un long fil métallique, interrompu en un endroit, cet intervalle est traversé par l'étincelle, en supposant qu'il ne soit pas trop grand. Le même phénomène a lieu quand il y a beaucoup de petits intervalles, et il se produit ainsi de très-jolis phénomènes lumineux.

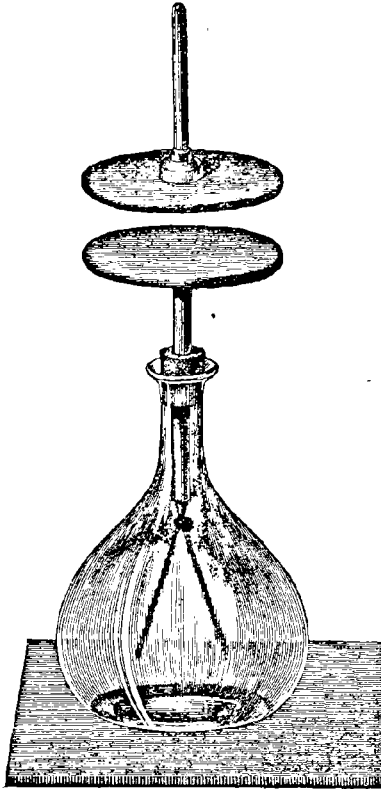


Fig. 186.

tandis qu'on touche le plateau supérieur avec le doigt, l'électricité négative du plateau supérieur est continuellement repoussée dans le sol, l'électricité positive, par contre, est fixée, et de cette manière il s'accumule insensiblement, sur le plateau inférieur, une quantité plus grande d'électricité négative provenant de la source; aussitôt qu'on enlève le plateau supérieur, l'électricité négative, devenue libre, se répand dans le plateau inférieur, et produit l'écartement des lamelles d'or.

201. Les machines électriques. Pour produire des phénomènes

électriques plus forts, on se sert d'appareils spéciaux, où des surfaces de verre assez grandes sont frottées contre des surfaces métalliques. On emploie à cela, soit de grands disques (voyez fig. 187), soit un cylindre

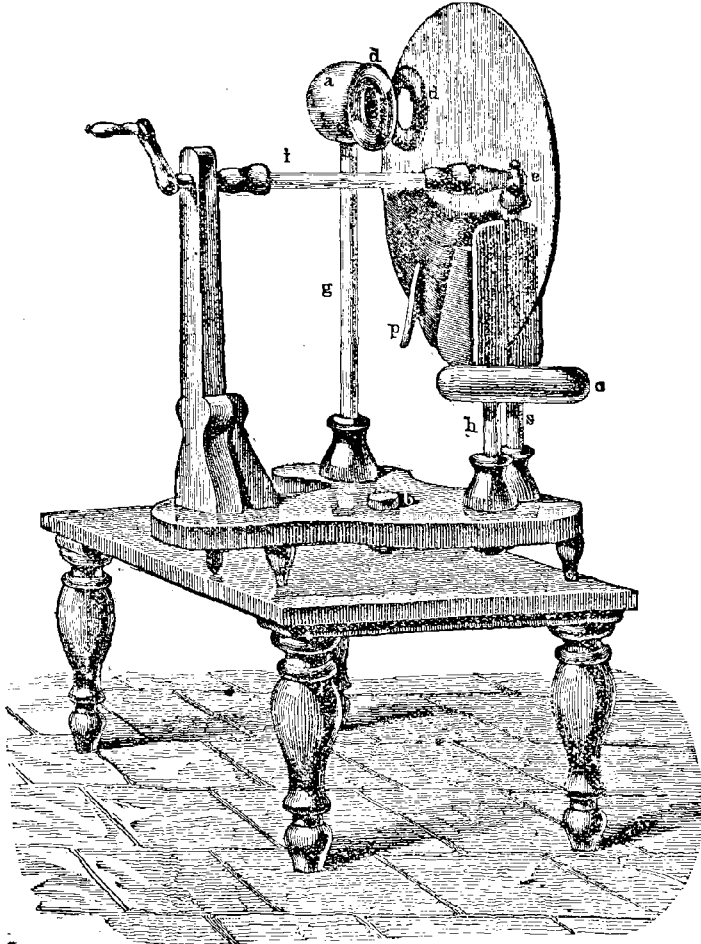


Fig. 187.

de verre (voyez fig. 188). Les premiers ont l'avantage de subir le frottement sur leurs deux faces. Les machines à cylindre, par contre, ont l'avantage d'être moins volumineuses et moins fragiles. Le frottoir

consiste en une planchette recouverte de cuir mou. Ce dernier est enduit d'un peu de graisse, puis chargé d'une poudre formée d'un mélange d'étain, de zinc et de mercure. Le frottoir *hs* ou *rr* est appliqué contre la surface du verre par des ressorts.

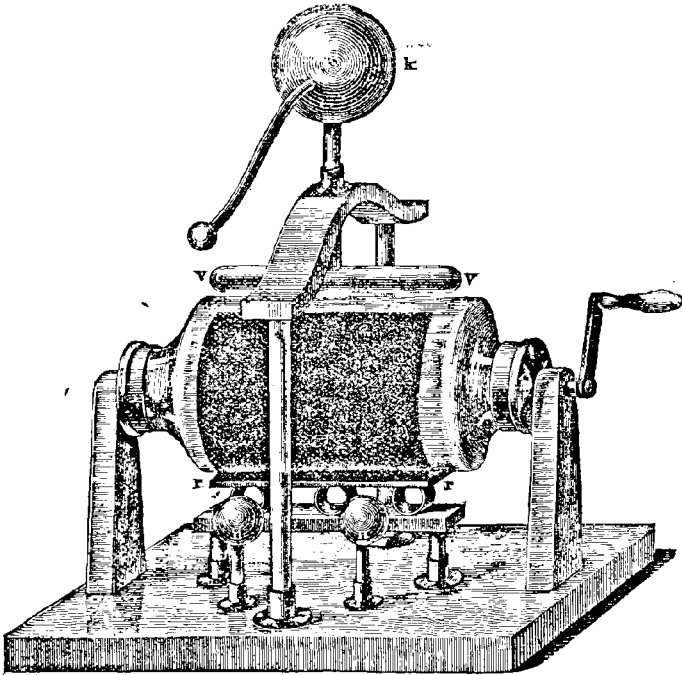


Fig. 188.

Il faut maintenant encore une disposition pour accumuler l'électricité qui devient libre par le frottement. Cette fonction est confiée aux peignes *dd* ou *vv*, qui sont fixés aux conducteurs (*a* ou *k*) et placés le plus près possible de la surface frottée. Toutes les parties nommées jusqu'ici sont portées par des pieds de verre, et sont par conséquent, isolées. Le frottoir étant mis, par une chaîne, en communication avec le sol, on met la machine en mouvement. Par le frottement, le verre s'électrise positivement et attire, par les peignes, l'électricité négative du conducteur, de sorte qu'il reste sur celui-ci de l'électricité positive libre.

Si l'on voulait s'emparer de l'électricité du frottoir, il faudrait faire communiquer le conducteur avec la terre, et placer près des frottoirs les petits conducteurs *o* ou *n*. Comme on le voit, on a donné aux conduc-

teurs, chargés de rassembler l'électricité devenue libre, une forme sphérique, car ce n'est que sur une sphère que la répartition de l'électricité a lieu d'une manière totalement uniforme. On doit éviter surtout dans les conducteurs tous les rebords, angles et pointes proéminentes, parce que l'électricité tend à s'y accumuler et y acquiert une telle tension, qu'elle finit par s'échapper dans l'air. Un cylindre arrondi à ses extrémités (fig. 181) convient encore fort bien comme conducteur.

202. Avec une forte machine électrique on peut établir une série d'expériences qui non-seulement offrent un grand intérêt scientifique, mais qui constituent aussi un divertissement très-attractif, comme la production de grosses étincelles, les phénomènes de l'éclair, la danse des poupées ou des balles, le tourniquet électrique, le pistolet électrique, le carillon électrique, l'inflammation d'alcool, de poudre, le percement de trous dans le verre, le carton, etc. On emploie encore, avec beaucoup de succès, pour faire sauter des mines, l'étincelle électrique produite par le frottement.

Une chose assez remarquable, c'est l'odeur particulière qui se produit principalement lorsqu'il y a écoulement considérable d'électricité par des pointes. Cette odeur provient d'un corps gazeux particulier, nommé *ozone* qui se forme dans ces circonstances et dont nous aurons à nous occuper dans la partie chimique.

203. Nous faisons encore remarquer d'une manière générale qu'une des conditions essentielles pour établir des expériences électriques est que l'air soit chaud et sec; car l'air humide conduisant l'électricité, celle-ci ne peut pas s'accumuler en quantité suffisante pour donner lieu à des phénomènes de quelque force. En hiver, ces expériences se font le plus convenablement à proximité d'un poêle fortement chauffé, et autour duquel on a, pendant quelque temps, laissé sécher tous les appareils.

ÉLECTRICITÉ PAR CONTACT OU GALVANISME.

204. En 1789, Galvani, médecin et naturaliste à Bologne, avait, pour certaines recherches anatomiques, suspendu des cuisses de grenouilles écorchées à des crochets en *cuivre* sur une galerie de *fer*. Lorsque le vent les faisait mouvoir, les cuisses de grenouilles se contractaient convulsivement dès que les muscles arrivaient en contact avec le fer. Cette observation de hasard, poursuivie par Galvani et surtout par Volta, conduisit à une série immense de faits et ouvrit à la physique un champ tout nouveau et fort vaste.

D'abord les recherches de Volta conduisirent à cette loi surprenante que, par le seul contact réciproque de deux métaux, il se développe de l'électricité. Mais cette loi reçut bientôt une extension plus grande, lorsqu'on eut découvert que le contact réciproque d'autres corps encore produisait

de l'électricité libre. Pourtant, c'est avec les métaux que ce phénomène est le plus apparent, ainsi que dans le contact de ceux-ci avec des liquides, et surtout avec des acides. C'est donc de l'électricité produite par ces derniers corps que nous nous occuperons principalement ici.

205. Expérience élémentaire. Prenons deux disques aussi plans et aussi lisses que possible, l'un en zinc et l'autre en cuivre, et pourvus chacun d'un manche isolant; mettons leurs surfaces lisses l'une sur l'autre; lorsque nous aurons séparé ces disques, le zinc sera chargé d'électricité positive, et le cuivre d'électricité négative. Naturellement, la charge est faible, et il faut, pour qu'elle se manifeste, un condensateur très-sensible. Les disques eux-mêmes ne subissent, dans cette expérience, aucune modification apparente.

L'expérience suivante est analogue : on colle ensemble deux feuilles

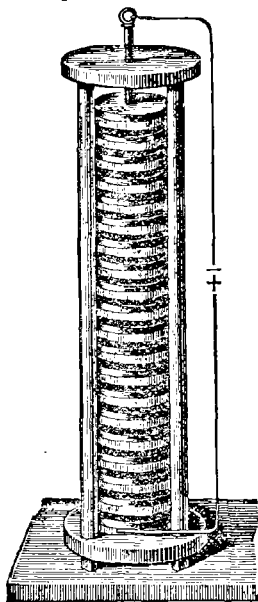


Fig. 189.

d'or battu, ainsi que deux feuilles d'argent; on les découpe en rondelles de la grandeur d'un écu, et on les met les unes sur les autres de telle sorte qu'il y ait alternativement une rondelle d'or et une rondelle d'argent. On comprime un peu la colonne et on la place dans un tube de verre. Celui-ci est fermé à ses deux ouvertures par des bouchons de liège, à travers lesquels passent des fils métalliques. On peut de cette manière construire des piles de 500 à 2,000 couples, et on trouve, en examinant l'un et l'autre fil, que chacun d'eux est chargé d'une électricité contraire. Cet appareil se nomme la *pile sèche* ou la *pile de Zamboni*, et conserve, dans des circonstances favorables, ses effets pendant des années.

Les deux expériences citées sont à peu près les seules où l'électricité se développe par le simple contact. Dans la plupart des autres cas, la décomposition chimique concourt avec le contact à la production de l'électricité.

206. La pile de Volta, ou la chaîne de Galvani est représentée fig. 189. Elle repose dans un support dont les parties supérieure et inférieure sont en bois et réunies par trois tubes de verre. Tout à fait en bas on met un plateau en verre, puis un disque de cuivre, ensuite un disque de zinc. Ordinairement on soude la surface entière du cuivre sur la surface du zinc, ce qui facilite beaucoup la construction.

Après cela, vient une rondelle de carton, de laine ou de feutre, préalablement imbibée d'une eau légèrement acidulée. On continue la construction de la colonne exactement dans le même ordre, de façon à superposer 20 à 40 couples, et on ferme le tout par un disque de zinc.

L'extrémité zinc de la colonne se nomme le pôle positif, l'extrémité cuivre le pôle négatif. C'est à ceux-ci surtout qu'on trouve accumulées les électricités contraires qui se sont formées par le contact des couples métalliques, tandis qu'aux couples du milieu on ne remarque pas d'électricité libre. Si l'on soude, comme dans fig. 189, des fils de fer aux disques terminaux, les extrémités des fils constitueront les *pôles* de la pile ou les *électrodes*.

Lorsque les deux fils formant les pôles de la pile sont en contact, on dit que la colonne ou la chaîne est fermée. On ne remarque extérieurement aucun signe d'excitation électrique. Mais néanmoins elle a lieu dans l'intérieur de la chaîne. Les électricités contraires s'accumulent aux pôles et se neutralisent à leur rencontre; et il faudrait, comme après la décharge de la bouteille de Leyde, que toute trace d'électricité disparût, si elle ne se renouvelait pas constamment dans chaque couple de disques. *Dans la chaîne fermée circule donc constamment un courant électrique.* Effectivement, qu'on interrompe le fil à une place quelconque, comme cela est indiqué fig. 189, on voit une étincelle électrique continuelle entre les deux fils. On observe la même chose lorsque le fil est interrompu à plusieurs places, en supposant que les intervalles laissés par les fils ne soient que de grandeur insignifiante.

207. Lorsqu'on plonge des métaux dans des acides ou dans des dissolutions salines, les métaux s'électrisent négativement, les liquides positivement. Lorsqu'on place, par exemple, un bâton de zinc dans un

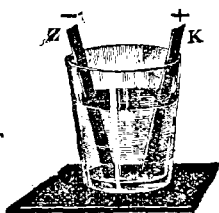


Fig. 190.

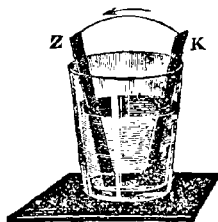


Fig. 191.

vase contenant de l'acide sulfurique étendu, le bord sortant est chargé d'électricité négative, l'acide d'électricité positive. Lorsque à côté du bâton de zinc on place une lame de cuivre sans que celle-ci touche le zinc (fig. 190), le cuivre sera également électrisé négativement, et l'électri-

ité positive plus forte du liquide ne neutralise pas seulement l'électricité négative du cuivre, mais elle se répand encore sur celui-ci, de sorte qu'il se charge d'électricité positive. Si maintenant on réunit le cuivre avec le zinc au moyen d'un fil (fig. 191), l'électricité positive passera sur ce dernier et s'y réunira avec l'électricité négative du zinc. Alors tout phénomène électrique devrait aussitôt cesser, si d'un côté le contact mutuel des métaux, d'un autre côté le contact de ceux-ci avec l'acide, ne produisaient constamment de nouvelles quantités d'électricité. Il se produit en conséquence dans cet appareil, qu'on nomme la *simple chaîne galvanique fermée*, un courant électrique continu allant, à l'intérieur du liquide, du zinc au cuivre et à l'extérieur du cuivre au zinc.

En plaçant un plus grand nombre de ces paires de lames, soit dans un réservoir commun (pile à auges), soit dans des réservoirs particuliers (pile à bœaux), et en faisant toujours communiquer au dehors la lame de cuivre de chaque paire avec la lame de zinc de la paire suivante, on multiplie de cette manière la force du courant et on obtient des chaînes galvaniques qui produisent les effets les plus surprenants.

208. Piles à effet constant. Dans les piles que nous avons décrites jusqu'ici, l'action est la plus forte au moment où l'on plonge les lames métalliques dans le liquide. Mais cette action diminue très-rapidement, surtout à cause des modifications chimiques que subissent les lames métalliques et les acides. Cet inconvénient a conduit à la construction

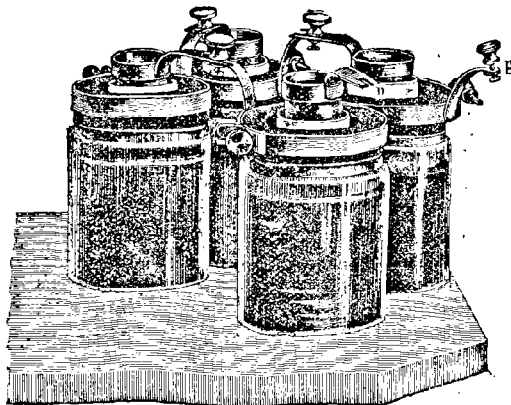


Fig. 192.

de piles dites à *courant constant*, qui donnent un courant qui se continue avec une force uniforme pendant un temps assez long. Sa construction repose sur ce que chacun des deux corps producteurs d'électricité est plongé dans un liquide particulier. Comme producteurs on emploie la plupart du temps soit le zinc et le platine, soit le zinc et le charbon, ce dernier n'étant pas seulement

bon conducteur, mais encore un fort producteur d'électricité. La fig. 192 représente une de ces piles à charbon et à zinc qui se compose de quatre

éléments liés entre eux. Un cylindre ouvert en zinc se trouve dans un cylindre fermé en terre cuite poreuse (vase poreux), qui contient de l'acide sulfurique étendu. Tous deux sont entourés d'un cylindre plus large fait en charbon et placé dans un vase en verre contenant de l'acide azotique concentré. La réunion métallique des producteurs se fait par des lames de cuivre placées au bord du charbon et par des vis de pression qui réunissent le charbon de chaque élément avec le zinc de l'élément suivant.

Les piles à courant constant sont importantes à cause de leur emploi dans les arts et l'industrie, surtout dans la galvanoplastie et dans la télégraphie.

209. Les effets du courant électrique offrent le plus haut intérêt et se manifestent : 1° par des phénomènes de chaleur et de lumière ; 2° par l'excitation des muscles et des nerfs ; 3° par des décompositions chimiques ; 4° par la production d'électricité et 5° par celle de magnétisme.

Quand on place, entre les fils de fermeture d'une pile, un fil mince d'un métal quelconque, de telle sorte que le courant est obligé de le traverser, ce fil devient chaud, d'un rouge vif, voire même d'un rouge blanc. Le fil de fer brûle directement, tandis qu'un fil de platine, qui est très-difficilement fusible, fond en petits globules. La vivacité de ces phénomènes dépend de la force de la pile. On a des exemples qu'un fil de platine d'une longueur de 50 centimètres a été maintenu au rouge vif par le courant électrique. On emploie cet effet pour faire sauter des mines à de très-grandes distances. Quand on fixe aux fils de fermeture de la pile deux morceaux de charbon taillés en pointe, et qu'on rapproche leurs pointes à une petite distance, le passage de l'électricité est accompagné d'une lumière blanche, éblouissante, ressemblant à celle du soleil.

210. Supposons la pile fermée par le contact des fils. Je prends dans chaque main un des fils et je supprime leur contact. Au même moment je ressens dans les articulations de la main et du bras une commotion particulière, qui peut aller en augmentant, depuis un simple petit mouvement convulsif jusqu'à des secousses très-douloureuses. Cette commotion se renouvelle au moment où je réunis de nouveau les fils séparés. La commotion nerveuse a donc lieu au moment où le courant entre dans un corps et lorsqu'il en sort ; car il est évident qu'il doit traverser celui-ci, du moment que le corps est interposé entre les pôles de la pile. Au moyen de dispositions particulières, on peut supprimer et rétablir la fermeture de la pile, de telle sorte que le courant traverse alternativement le corps et puis le fil. De cette manière le premier reçoit une série de commotions, qu'on considère comme importantes sous le rapport thérapeutique et qu'on a employées à la guérison de maladies dues à un trouble fonctionnel ou à une paralysie du système nerveux, ce qui est quelquefois le cas dans des

paralysies, dans la surdité, etc. Cependant, d'une manière générale, les résultats n'ont pas répondu aux espérances que cette méthode curative avait fait naître.

211. Les effets chimiques que manifeste le courant électrique ne pourront être compris que lorsque nous aurons étudié les phénomènes chimiques. Qu'il suffise pour le moment de mentionner que le courant a la tendance de décomposer toute combinaison chimique à travers laquelle il passe. La *galvanoplastie* est une application de cette propriété du courant électrique.

212. Lorsqu'un fil de cuivre très-long, recouvert de soie, est enroulé autour d'une bobine, et qu'on roule au-dessus un autre fil de cuivre plus gros, à travers lequel circule un fort courant électrique, les bouts du premier fil de cuivre démontrent qu'il s'est également établi dans celui-ci un courant qu'on nomme *courant induit*, ou courant par *induction*. Cette *induction* rappelle l'électrisation par influence démontrée au § 196.

Quant aux rapports du courant électrique avec le magnétisme, ils réclament une exposition plus détaillée.

ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

213. En l'année 1820, Oersted, à Copenhague, observa qu'une aiguille aimantée, suspendue librement, dévie de sa direction aussitôt qu'on l'approche du fil de fermeture d'une pile dans lequel circule un courant électrique. Avec cette découverte commença une nouvelle époque pour l'étude de l'électricité, époque caractérisée particulièrement par la recherche et la démonstration de la connexion intime qui existe entre ces deux forces

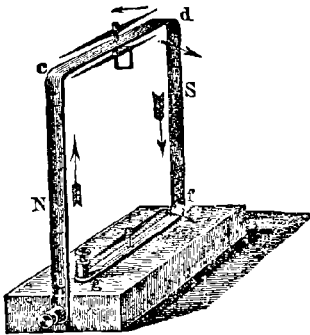


Fig. 195.

naturelles encore si peu connues dans leur essence, l'électricité et le magnétisme. Ces recherches sont d'autant plus intéressantes, qu'il en est résulté des découvertes qui ont donné aux hommes pour ainsi dire des sens nouveaux ou perfectionnés, et leur procurent par la télégraphie une espèce de présence universelle sur la surface de la terre.

214. Pour répéter l'expérience d'Oersted, il suffit, comme dans la fig. 195, de placer une aiguille magnétique à l'intérieur d'un étrier en cuivre

par lequel passe le courant. Cet appareil si simple a donné naissance d'un côté à la *boussole de tangente*, où la grandeur de la déviation indique

l'intensité du courant, celle-ci étant proportionnelle à la tangente de l'angle de déviation ; d'un autre côté, l'observation faite que même des courants très-faibles occasionnent une déviation, lorsqu'on a entouré l'aiguille, dans le sens de la longueur, d'un fil de cuivre à travers lequel le courant doit passer, amena la découverte du *multiplicateur*, par lequel on peut, en effet, reconnaître les moindres traces de courant électrique.

Cependant la déviation de l'aiguille n'est pas la même, ainsi que le démontrent les flèches, quand le courant passe au-dessus ou au-dessous de l'aiguille. Elle a lieu d'après le principe suivant : Qu'on se figure l'observateur occupant la place de la lame métallique conductrice de telle sorte que le courant positif lui entre par les pieds et sorte par la tête et que la face soit chaque fois dirigée contre l'aiguille, alors le pôle nord (sud des Français) déviara toujours à sa gauche.

215. On a su d'une manière ingénieuse établir des *courants mobiles*, en faisant, comme le montrent les fig. 194 et 195, terminer un fil courbé

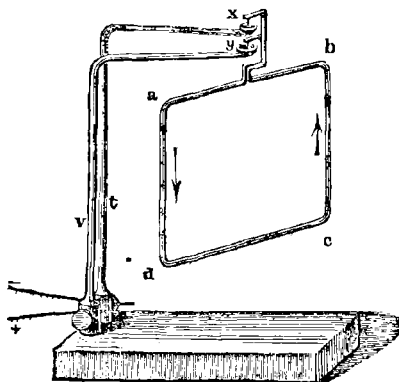


Fig. 194.

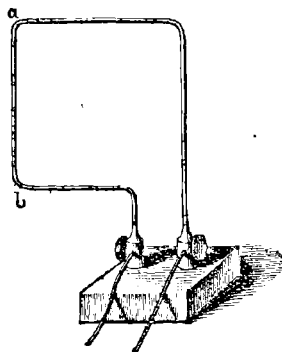


Fig. 195.

par de fines pointes qui plongent dans de petits godets *x y*, contenant du mercure. Comme, dans le paragraphe précédent, nous avons démontré que le courant électrique influait sur la position de l'aiguille aimantée mobile, il est assez naturel de se demander si un aimant fixe ne modifierait pas la direction d'un courant mobile. Il en est effectivement ainsi, et la terre elle-même étant l'aimant le plus fort, manifeste son influence de telle sorte que le plan d'un fil conducteur simple se place rectangulairement avec la direction du méridien magnétique. Mais lorsque le fil est tourné en longue spirale (fig. 196) et qu'il est suspendu, il se place, lors du passage de l'électricité, dans la direction de l'aiguille aimantée. Cet appareil se nomme un *solénoïde*.

Quand on approche l'un de l'autre deux courants électriques, de la manière indiquée dans les fig. 194 et 195, il en résulte une attraction mutuelle, si les courants sont parallèles entre eux ; dans le cas contraire, ils se repousseront.

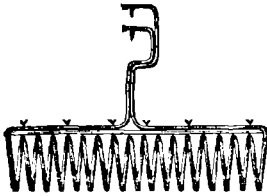


Fig. 196.

216. Lorsqu'on enroule un grand nombre de fois un fil de cuivre autour d'un cylindre de fer ou d'acier, et qu'on fait passer à travers le fil un courant électrique, le cylindre acquiert des propriétés magnétiques. Pour cela on fait 800 à 1000 tours avec un fil de cuivre recouvert de soie autour d'une bobine en bois (fig. 197), dans l'excavation de laquelle on fait entrer le cylindre à

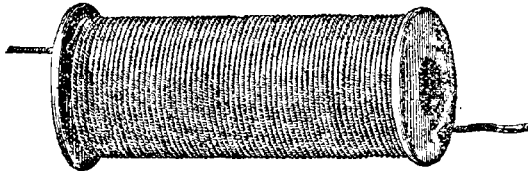


Fig. 197.

magnétiser. L'acier devient ainsi magnétique d'une manière durable, le fer, fidèle à sa nature, décrite au § 190, ne reste aimant qu'aussi longtemps que le courant parcourt la bobine. Lorsqu'on interrompt celui-ci, la force attractive du fer cesse aussitôt. On peut de cette manière construire des aimants électriques d'une très-grande force (fig. 198).

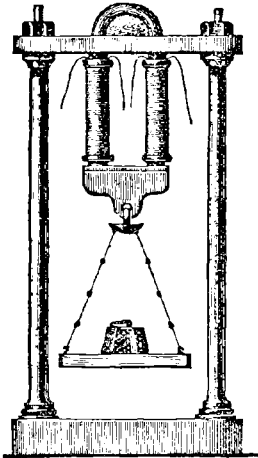


Fig. 198.

Les pôles d'un aimant électrique se renversent, c'est-à-dire le pôle nord devient le pôle sud au moment où on dirige le courant électrique dans la spirale en sens inverse. On a inventé des appareils spéciaux, des *gyrotropes*, au moyen desquels on peut effectuer très-rapidement des renversements du courant, en mettant chaque extrémité de la spirale en communication alternativement avec le pôle positif ou avec le pôle négatif d'une pile.

Lorsqu'on pose un aimant électrique *A B* (fig. 199, page suivante), qui tourne facilement sur son axe, en face d'un aimant ordinaire en forme de

fer à cheval *NS*, les pôles de nom contraire s'attirent. Mais si, au moment où les deux aimants ont pris la position qui correspond à leur attraction, on renverse le courant et par conséquent la polarité de l'aimant électrique, alors les pôles de même nom des deux aimants se trouvent en face l'un de

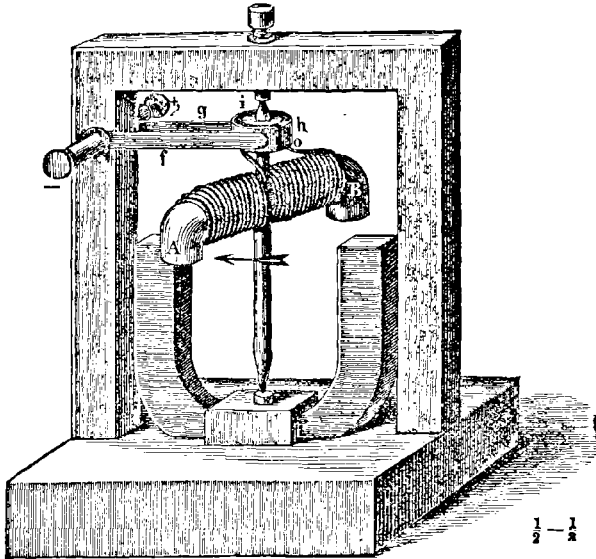


Fig. 199.

l'autre et se repoussent. Il se produit ainsi un mouvement de rotation très-rapide et très-fort, mais jusqu'ici les essais de l'employer avantageusement comme force motrice n'ont pas abouti.

217. Induction magnétique. Lorsqu'on introduit dans la bobine décrite fig. 197 un bâton magnétique, et qu'on fait communiquer les extrémités du fil avec un multiplicateur (§ 214), celui-ci indique qu'il circule dans le fil un courant. On obtient des courants d'induction de grande force par la *machine de rotation magnéto-électrique*.

218. Le télégraphe électrique. A côté des résultats étonnants de la machine à vapeur, c'est surtout la correspondance télégraphique, s'établissant comme par enchantement entre des distances considérables, qui mérite d'être citée comme une des merveilles de notre siècle. Par le développement actuel de la télégraphie, on a résolu un problème qui paraissait impossible à résoudre il n'y a que quelques dizaines d'années. En

effet il fallait d'abord que tous les faits cités dans les chapitres précédents fussent découverts, pour qu'on pût les utiliser aux besoins de la télégraphie.

L'essence du télégraphe électro-magnétique repose : 1° sur la rapidité du courant électrique ; 2° sur la conductibilité des métaux et de la terre 3° sur la possibilité qui en résulte de pouvoir à toute distance communiquer, au moyen de la spirale en fil de cuivre, des propriétés magnétiques à un morceau de fer, et de pouvoir tout aussi vite les lui enlever, de sorte qu'il devient possible de donner, au moyen de l'attraction et de la répulsion de l'électro-aimant, certains signes à l'endroit éloigné où celui-ci est établi.

La rapidité du courant électrique est excessivement grande, et bien que les évaluations faites par différents observateurs varient de 150,000 kilom. à 450,000 kilomètres par seconde, il est toujours certain que, pour les distances ordinaires, la communication est instantanée, puisqu'elle n'exige qu'un temps impossible à mesurer. Cette rapidité du courant dépend, à la vérité, beaucoup des moyens qu'on emploie pour le conduire ; car les métaux eux-mêmes possèdent une conductibilité si différente, que le platine, par exemple, est onze fois, et le fer sept fois moins conductible que le cuivre. Celui-ci et l'argent possèdent la plus grande conductibilité. On doit donc prendre un fil de fer d'une épaisseur sept fois plus grande pour qu'il ait la même conductibilité qu'un fil de cuivre d'une épaisseur déterminée.

Les liquides et la terre humide opposent à la transmission du courant une résistance plusieurs millions de fois plus grande que le cuivre. Mais en unissant les extrémités de deux fils à de grands plateaux métalliques *P P*, placés dans la terre en face l'un de l'autre, on est parvenu à ce résultat important d'utiliser la terre elle-même comme conducteur. Le courant, dans ce cas, est transmis par la couche de terre intermédiaire à ces deux plateaux. Si leur surface est des millions de fois plus grande que le diamètre du fil de cuivre, elle possède une conductibilité égale à celui-ci.

219. C'était alors à la mécanique à construire des appareils, pour transformer l'attraction électro-magnétique en un langage de signes. Cette question a été résolue de différentes manières et nous allons examiner un des appareils les plus simples, le télégraphe de Morse (fig. 200, page suivante), qui écrit lui-même la dépêche.

Aussitôt que le courant électrique traverse les deux spirales *b b*, les cylindres en fer qui s'y trouvent deviennent magnétiques et attirent le levier écrivant *d d*, qui est mobile autour de son axe. Ce levier possède à son autre extrémité une pointe effilée qui produit des marques sur une lame de papier glissant au moyen d'un rouage entre les cylindres *i* et *b*, aussi longtemps que le levier est attiré. Lorsque le courant est interrompu,

l'attraction magnétique cesse aussitôt, et le levier à écrire est repoussé dans sa position primitive par le ressort *f*. Une impression momentanée

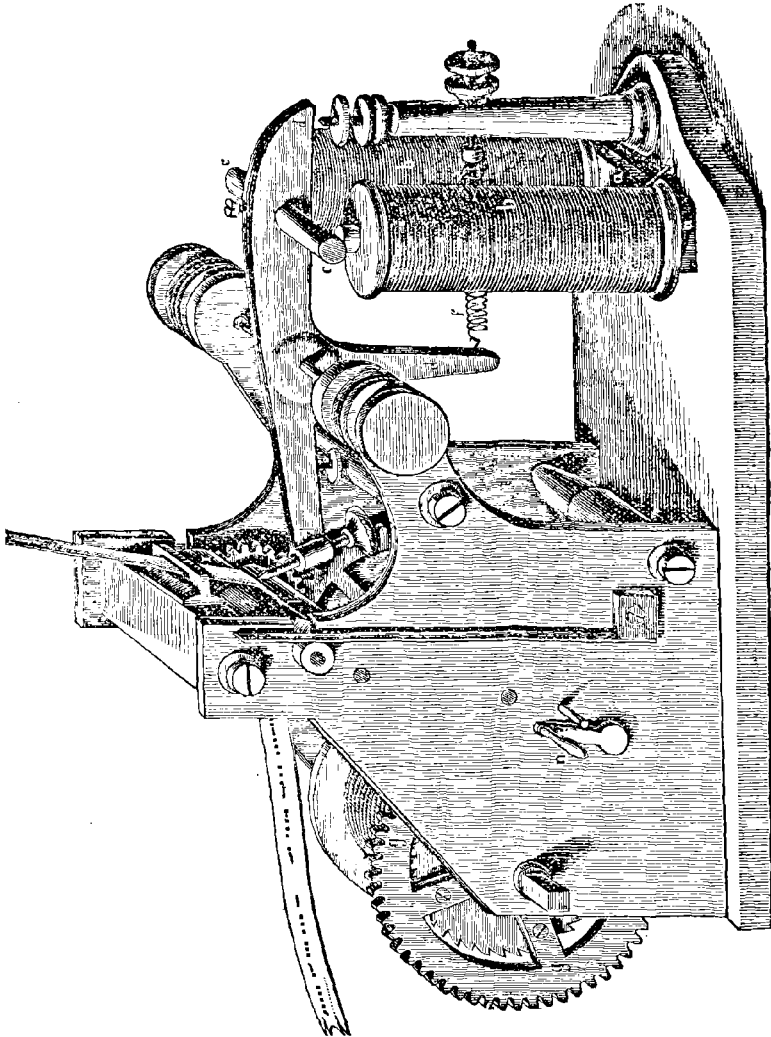


Fig. 200.

de la pointe marque un point; quand elle dure plus longtemps, il en résulte un trait, de manière qu'au moyen de points et de traits on peut se former un alphabet, par exemple *a. . —*, *m —*, *e. .*, *r. — .*, *s. . .*, *t —*, etc.

La fig. 201 représente deux stations télégraphiques communiquant ensemble. b, b' représentent les batteries électriques, m, m' les électro-aimants, et s, s' sont ce qu'on nomme les clefs dont le télégraphiste se

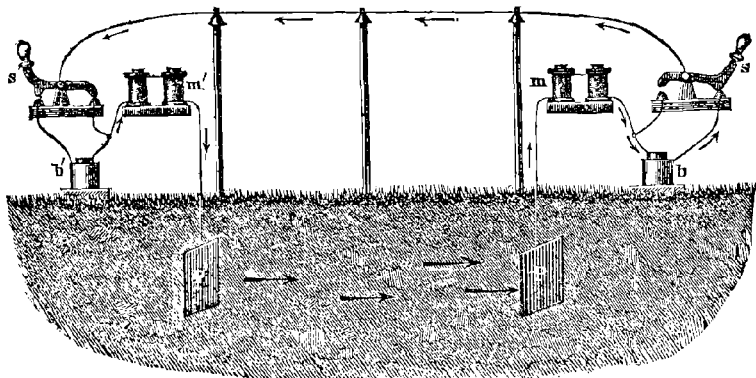


Fig. 201.

sert pour établir le courant ; car si les deux clefs se trouvaient en repos, comme en s' , la communication entre les excitateurs internes et externes de la batterie serait interrompue (comparez § 208), et la circulation du courant serait empêchée. Lorsque la clef est déprimée comme en s , le courant marche dans la direction des flèches du pôle positif b à travers la clef, et le fil de conduite vers la clef s' , de celle-ci à l'électro-aimant m' , puis au plateau P' à travers la terre, de retour vers l'électro-aimant de la station parlante et enfin au pôle négatif de la batterie b .

Mais nous devons nous figurer que les électro-aimants m, m' communiquent avec l'appareil représenté fig. 200, dont le levier à écrire reçoit les mouvements voulus par les pressions répétées sur la clef.

Le courant galvanique rend encore, indépendamment du télégraphe, d'autres services précieux à la science et à l'industrie ; nous ferons simplement mention de son emploi pour les horloges électriques, marchant toutes uniformément, de son application pour déterminer des divisions extrêmement petites de temps, par exemple, pour la vitesse de boulets de canon.

220. Thermo-électricité. On a observé sur plusieurs corps et notamment sur un minerai, la tourmaline, la propriété singulière de devenir électriques, du moment qu'on les chauffe à une de leurs extrémités. On remarque encore que l'action galvanique de deux métaux différents, soudés ensemble, augmente considérablement lorsque la place de la soudure est

chauffée. Dans la fig. 202, *op* est une barre de bismuth sur laquelle se trouve soudé un treillis de cuivre *mn*. Une aiguille aimantée *a* se trouve

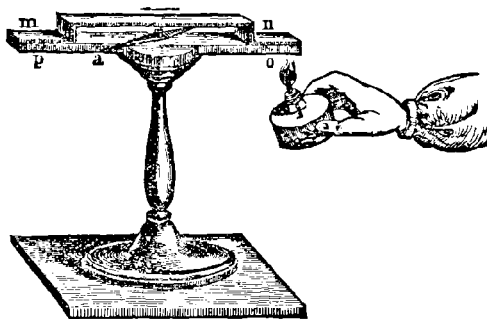


Fig. 202.

au-dessous et on place l'appareil dans la direction du méridien magnétique. Lorsqu'on chauffe une des places de soudure, en *o*, par exemple, l'aiguille dévient, preuve que dans cette chaîne thermo-électrique il circule un courant.

Les meilleurs excitateurs thermo-élec-

triques sont des chaînes d'antimoine et de bismuth, et en combinant celles-ci avec le multiplicateur, on a construit un appareil qui est extrêmement sensible aux plus petites différences de chaleur.

IX. La Météorologie.

221. Nous comprenons sous ce nom l'étude d'une série de phénomènes très-divers, qui ont cependant cela de commun, d'apparaître sur une grande échelle et de ne pas exiger, comme la plupart des phénomènes de physique que nous avons considérés jusqu'ici, des machines et des appareils. Ce sont plutôt les forces naturelles, agissant en grand et se manifestant librement sur tout le domaine terrestre que nous devons regarder comme producteurs du vent et des autres phénomènes qui se passent dans l'atmosphère. On pourrait donc encore désigner ce chapitre sous le nom d'étude du temps, parce que nous y cherchons principalement l'explication des phénomènes qui répondent à ce que nous entendons par temps ou température.

Cependant, si la météorologie peut nous faire acquérir quelques notions sur la production et les connexions des différents phénomènes atmosphériques, il s'en faut de beaucoup qu'elle nous mette en état de pouvoir d'avance prévoir et déterminer le temps. Certes nous reconnaissons toujours une certaine régularité même dans ce phénomène le plus capricieux de tous les phénomènes naturels; cependant, par rapport

à nos intentions, à nos désirs, à nos actes et aux avantages à en retirer, une sage providence paraît avoir voulu nous laisser dans l'incertitude, de même qu'elle a jeté un voile salutaire sur nos destinées futures.

Nous nous occuperons donc, dans ce qui suit : 1° de la répartition de la chaleur sur la surface de la terre ; 2° de la pression atmosphérique et de l'origine des vents ; 3° de l'humidité atmosphérique ; enfin 4° des phénomènes optiques et électriques de l'atmosphère.

222. I. Répartition de la chaleur sur la surface de la terre. Le soleil est la source unique de la chaleur sensible et mesurable sur la surface de la terre ; en même temps que sa lumière, il nous envoie les rayons invisibles qui répandent la chaleur et provoquent la vie partout où ils arrivent. La température d'un endroit dépend donc, avant tout, de la manière dont les rayons solaires le touchent. Nous faisons en outre observer que les rayons calorifiques parvenant du soleil à la terre sont parallèles entre eux, et il va de soi qu'une surface est d'autant plus échauffée qu'il y tombe un plus grand nombre de rayons calorifiques.

Supposons que, dans la fig. 203, les lignes parallèles représentent un faisceau prismatique de rayons de chaleur émanant du soleil, que $a b c d$

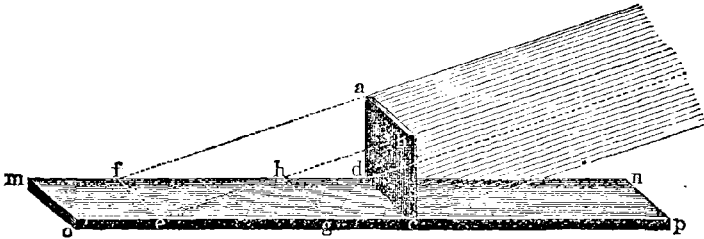


Fig. 203.

soit une surface égale à la coupe transversale du faisceau de rayons, de telle sorte que, placée à angle droit contre le faisceau, la surface reçoive tous les rayons de chaleur, son échauffement correspondra au nombre de ces rayons ; mais enlevons ce plan vertical interposé, les rayons calorifiques tomberont obliquement sur le plan horizontal $m n p o$ et se répartiront sur la surface $d c e f$, qui est trois fois aussi grande que $a b c d$; par conséquent la partie $d c g h$ de cette surface, qui a la même grandeur que $a b c d$, ne pourra recevoir que le tiers de la chaleur que la surface $a b c d$ recevait. Cette expérience prouve qu'une quantité donnée de rayons de chaleur ne produit son échauffement le plus grand que lorsqu'ils tombent perpendiculairement ; qu'ils se répartissent sur une surface d'autant plus grande et

produisent conséquemment d'autant moins d'effet, qu'ils forment en tombant un angle plus petit, autrement dit, qu'ils tombent plus obliquement. On s'explique ainsi pourquoi la neige fond le plus rapidement sur les toits, pourquoi le vin le plus chaud mûrit sur les pentes des montagnes; car les rayons solaires tombent sur ces pentes perpendiculairement, ou, dans tous les cas, moins obliquement que sur la surface horizontale de la terre.

Comme la terre est une sphère, il est impossible que les rayons solaires parallèles tombent sur tous ses points sous des angles égaux, et on s'explique ainsi l'inégalité de température sur la surface de la terre. Nous voyons (fig. 204), plusieurs faisceaux de rayons calorifiques *a b*, *b c*, *c d*,

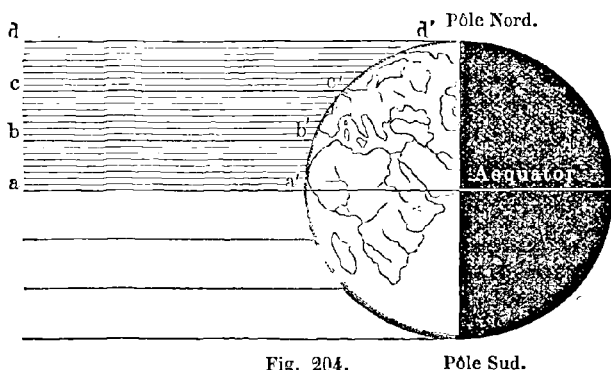


Fig. 204.

Pôle Sud.

dont chacun contient le même nombre de rayons; mais lorsque ceux-ci atteignent la terre, ils se répartissent sur des surfaces très-inégales. La contrée *a' b'* est évidemment plus petite que *b' c'* et de beaucoup plus petite que *c' d'*. A proximité de l'équateur, entre *a'* et *b'*, les rayons solaires tombent perpendiculairement, ou presque perpendiculairement, et produisent l'échauffement le plus considérable; à proximité du pôle, entre *c'* et *d'*, la chaleur est le moins forte, parce que les rayons, tombant très-obliquement, se répartissent sur une très-grande surface. En effet, nous distinguons la zone torride au milieu, suivie de chaque côté d'abord par une zone tempérée, puis par une zone froide, dont les limites seront plus spécialement indiquées dans la partie astronomique de cet ouvrage.

C'est encore là que nous apprenons que, par suite de la position de l'axe terrestre relativement à son orbite, comme par suite du cours annuel autour du soleil, les rayons calorifiques atteignent, dans les différentes saisons, un même endroit sous des angles très-différents; ensuite, que la

durée du jour subit des variations et des inégalités d'autant plus grandes, qu'on s'éloigne davantage de l'équateur. Ajoutons à cela la différence des pouvoirs absorbants des surfaces inégales de la terre, l'influence de l'élevation d'un endroit au-dessus du niveau de la mer et enfin les effets dépendants des courants d'air et des cours d'eau, il devient évident que la température d'un endroit ne dépend pas uniquement de sa position géographique, et que celle-ci ne peut la déterminer qu'approximativement. Des indications précises à cet égard doivent se fonder sur des observations spéciales.

223. Remarquons tout d'abord que les rayons solaires échauffent le plus vers l'heure de midi, parce qu'ils tombent alors moins obliquement; ensuite que, dans la zone tempérée, la différence de l'été à l'hiver repose d'un côté sur l'inégalité de la durée du jour et d'un autre côté sur les angles différents sous lesquels les rayons solaires atteignent la terre. En été, l'incidence des rayons solaires se rapproche de la perpendiculaire; en hiver, par contre, où la terre est de plus d'un million de lieues plus rapprochée du soleil qu'en été, les rayons tombent très-obliquement. Il peut donc y avoir, en un même endroit, des différences notables à des heures différentes de la journée et des différences très-considérables à des jours différents de l'année. Ces différences sont d'autant plus marquées qu'on s'éloigne davantage de l'équateur. C'est ainsi, par exemple, que la différence de température du mois le plus froid et du mois le plus chaud ne s'élève à Bogota, situé à 4 degrés au nord de l'équateur, qu'à 2° centigrades; à Mexico (19° latitude nord), elle s'élève à 8° centigrades; à Paris (48° latitude nord), à 27° centigrades, à Saint-Petersbourg (59° latitude nord), à 52° centigrades.

Cela nous conduit à la recherche de valeurs moyennes pour la température des divers endroits. On entend par *température moyenne* d'une journée, la moyenne des températures les plus hautes et les plus basses observées pendant les 24 heures qui la composent. A cette fin, il faudrait observer le thermomètre d'heure en heure, ou à des intervalles de temps encore plus courts. Mais l'expérience a démontré qu'on obtenait d'une manière suffisamment exacte la température moyenne d'un jour, en observant le thermomètre à 7 heures du matin, à 2 heures de relevée et à 9 heures du soir, et en calculant la moyenne des trois températures. Avec la température moyenne des jours on établit celle du mois, et la température moyenne de l'année se calcule d'après celle des mois.

Si l'on voulait connaître exactement l'état le plus haut et le plus bas du thermomètre endéans un temps déterminé, par exemple, pendant une journée, il faudrait que l'observateur examinât constamment le thermomètre pendant 24 heures. Mais on a heureusement imaginé un instrument qui dispense de cette tâche pénible. Cet instrument se nomme le

thermométophane, fig. 205, qui se compose de deux thermomètres à tube horizontal. Le supérieur est un thermomètre à mercure, dans le tube

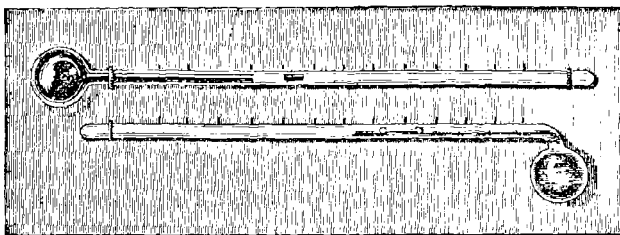


Fig. 205.

duquel on a introduit un petit index en acier. Quand le thermomètre monte, la colonne de mercure pousse l'index en avant, et l'y laisse reposer, lorsque, par suite de l'abaissement de la température, le mercure se retire; ce thermomètre indique donc la température la plus élevée, ou la température *maxima*. Le thermomètre inférieur à tube recourbé contient de l'esprit de vin; on a également enfermé dans son tube un corps, savoir un léger tube de verre à extrémités renflées. Lorsque, par suite de l'abaissement de la température, l'esprit-de-vin se retire, il entraîne avec lui, par un effet d'adhésion, la petite tige de verre. S'il survient plus tard une température plus élevée, l'esprit-de-vin passe au-dessus d'elle sans la déranger; et on constate par ce moyen la température la plus basse, ou *minima*. Avant de s'en servir, on doit chaque fois pencher légèrement l'appareil à gauche et chercher, en frappant doucement, à ramener les deux petites tiges sur le sommet des colonnes liquides dans les tubes des thermomètres.

224. Comme résultats d'une longue observation dans la zone tempérée nord, on a constaté qu'en moyenne le mois de juillet est le mois le plus chaud, celui de janvier le plus froid de l'année; que le 26 juillet peut être considéré comme le jour le plus chaud, et le 14 janvier comme le jour le plus froid de l'année. La température moyenne correspond généralement au 24 avril et au 21 octobre. Quant aux saisons, on pourrait dans la même contrée diviser les mois de la manière suivante : *Printemps* : mars, avril, mai; *été* : juin, juillet, août; *automne* : septembre, octobre, novembre; *hiver* : décembre, janvier, février.

Le tableau suivant contient quelques indications des états de la température sur différents points de la terre :

LIEUX.	LATITUDE.	ÉLÉVATION AU-DESSUS DU NIVEAU de la mer en mètres.	TEMPÉRATURE MOYENNE EN DEGRÉS CENTIGRADES		
			de l'année.	de l'hiver.	de l'été.
Ile Melville.....	74° N.	—	— 18.7	— 33.5	2.8
Iakoutsk.....	62° »	117	— 9.7	— 38.9	17.2
Saint-Bernard.....	45° »	4843	— 1.0	— 7.8	6.1
Saint-Petersbourg.....	59° »	—	3.5	— 8.4	13.7
Kœnigsberg.....	54° »	—	6.2	— 3.5	13.9
Berne.....	46°	585	7.8	— 0.9	13.8
Berlin.....	52°	39	8.6	— 0.8	17.3
Munich.....	48°	526	8.9	— 0.4	17.4
Genève.....	46°	396	9.7	1.2	17.9
Francofort-s/Mein.....	50°	117	9.8	1.2	18.3
Vienne.....	48°	156	10.1	0.2	20.3
Londres.....	51°	—	10.4	4.2	17.1
Paris.....	48°	64	10.8	3.3	18.1
Bordeaux.....	44°	—	15.9	6.1	21.7
Bruxelles.....	50°	58	10.2	3.5	17.7
Rome.....	41°	55	15.4	8.1	22.9
Cap de Bonne-Espérance.	33° S.	—	19.1	14.8	25.4
Calcutta.....	22° N.	—	25.5	19.9	28.5

Bien que la plupart des températures indiquées dans ce tableau confirment que la température moyenne d'un endroit est d'autant plus élevée qu'il est plus rapproché de l'équateur, nous rencontrons pourtant diverses exceptions.

Nous voyons surtout ressortir l'influence d'abaissement de température qu'exerce l'élévation au-dessus de la mer, lorsque nous comparons les températures moyennes de Paris et de Munich, qui sont pourtant situés sous le même degré de latitude. La température d'un pays est encore abaissée par des courants d'air froid qui y règnent, ainsi que par une végétation abondante; car non-seulement celle-ci diminue l'échauffement du sol par les rayons solaires, mais les plantes dégagent encore, la nuit, beaucoup de calorique et produisent une évaporation constante d'eau, qui absorbe beaucoup de chaleur.

Le voisinage d'eaux exerce encore une influence considérable sur la température. Il faut d'abord observer que le continent, surtout celui à surface nue, est beaucoup plus fortement échauffé par les rayons solaires,

qu'une surface d'eau dans les mêmes conditions. De grandes étendues d'eau, telles que des mers, surtout lorsqu'elles entourent une partie de



Fig. 206.

terre proportionnellement étroite, donnent à celle-ci comme au littoral des continents un climat uniforme, savoir des étés frais et des hivers

doux, tandis que, dans l'intérieur de grands territoires, des étés brûlants alternent avec des hivers très-froids. On distingue pour cette raison un climat de terre ferme et un climat de mer, ou bien un climat continental et un climat maritime. Cet effet égalisateur de l'eau dépend, d'un côté, de ce qu'elle absorbe une grande quantité de chaleur pour son évaporation; d'un autre côté, l'eau émet beaucoup moins de chaleur pendant la nuit que la terre. Les conséquences de cette influence sont très-remarquables et très-importantes pour la végétation. C'est ainsi que près d'Iakoutsk, en Sibérie, où la température moyenne de l'année est de -9.7° centigrades, mais où la température moyenne de l'hiver descend à -38.9° centigrades, on récolte, pendant l'été court mais fort chaud, et où la température moyenne est de 17.2° centigrades, du froment et du seigle, tandis qu'en Islande, où la température de l'année est beaucoup plus élevée et où l'hiver n'est pas rigoureux, les céréales n'arrivent pas à maturité, parce que la température y reste trop basse en été. De même nous trouvons en Irlande et sur la côte sud de l'Angleterre un climat uniforme et doux, à tel point que le myrte, le camellia et le fuchsia passent l'hiver en plein air. Mais la vigne n'y réussit pas; les cerises et d'autres fruits n'y arrivent pas à maturité, parce que la chaleur de l'été n'atteint pas l'élévation nécessaire.

225. Si, comme cela a été fait sur la carte (fig. 206), qui représente la surface de la terre dans la projection équatoriale, l'on réunit, par une ligne, tous les endroits qui ont une température moyenne annuelle égale, on obtient ce qu'on nomme des lignes *isothermes*, c'est-à-dire, de même température moyenne pour l'année. Cette carte représente et complète toutes les circonstances dont nous venons de parler. Nous y voyons que les lignes isothermes ne sont pas du tout parallèles aux degrés de latitude, mais qu'elles forment au contraire des courbes très-irrégulières. Cette carte est complétée par la carte suivante (fig. 207), où les lignes tirées passent par les endroits qui ont une égale température moyenne d'hiver : on les nomme *isochimènes*. Les lignes ponctuées, par contre, réunissent les endroits où règne une égale température d'été, et se nomment *isothères*. On constate ainsi que des endroits qui s'accordent sous le rapport de la température moyenne de l'année, peuvent différer considérablement sous le rapport de leur été et de leur hiver, et offrir, par conséquent, des différences notables de climat et de végétation.

Les observations sont d'accord pour prouver que des températures extrêmes, par exemple, des hivers extrêmement rigoureux, ne s'étendent jamais sur des hémisphères entiers; il y a plutôt une compensation telle, que nous pouvons admettre que les quantités de chaleur que le soleil envoie annuellement à la terre restent constamment égales.

226. Jusqu'ici toutes nos considérations se rapportaient à la température de l'air, dont celle du sol diffère considérablement. Ainsi que

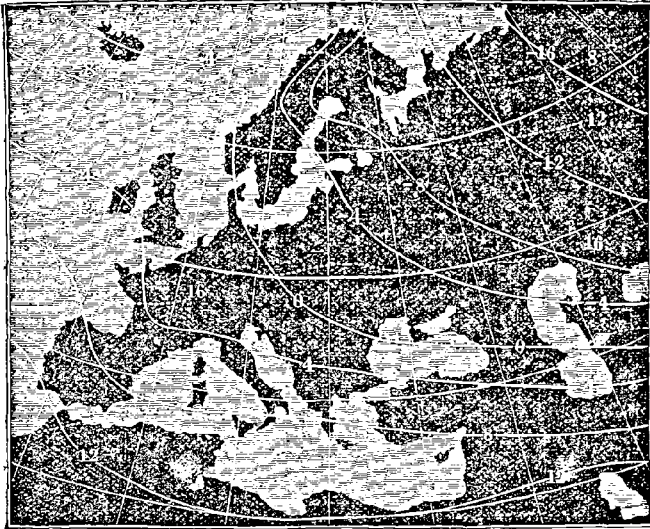


Fig. 207

nous l'avons déjà indiqué, la nature de la superficie du sol a une influence marquée sur sa température ; tandis qu'une couverture de plantes abaisse sa chaleur, un sol nu, sablonneux ou pierreux, s'échauffe considérablement aux rayons du soleil, au point que la chaleur du sable des déserts d'Afrique s'élève souvent à 50° et même à 60° centigrades. Mais comme la terre est un mauvais conducteur de la chaleur, celle-ci n'y pénètre qu'insensiblement et à une profondeur peu considérable. A deux pieds de la surface le thermomètre cesse de marquer les oscillations journalières de la température, et indique seulement les variations annuelles. A une profondeur un peu plus grande, ces dernières disparaissent également, et il y règne constamment une température correspondant, à peu près, à la température moyenne annuelle de l'endroit. Mais si l'on pénètre plus profondément dans la croûte de la terre, on constate que celle-ci doit posséder une chaleur propre, indépendante du soleil, chaleur qui augmente constamment avec la profondeur, de sorte qu'à 10,000 pieds, nous rencontrerions la chaleur de l'eau bouillante et enfin la chaleur rouge — circonstances qui seront expliquées dans la partie géologique.

227. Mais, au contraire, lorsque nous nous élevons, soit au moyen d'un ballon, soit en gravissant une montagne, nous observons une diminution constante de température dans les régions plus élevées de l'air. Celui-ci, à cause de sa densité minime, n'est que très-faiblement échauffé par les rayons du soleil ; il reçoit plutôt sa chaleur par le rayonnement de la terre, qui agit comme un poêle. On devrait penser alors que l'air échauffé va, comme dans nos chambres, s'élever et occuper la région supérieure. Il en est ainsi en partie, mais, comme l'air en s'échauffant se dilate, il y a en même temps absorption de la chaleur, et sa température s'abaisse. C'est pourquoi nous rencontrons, sur les hautes montagnes, des régions de neige éternelle, dont les limites sont situées d'autant plus haut, que le pays est plus chaud. Dans les Alpes, il y a, pour chaque élévation de 750 pieds de Paris, un abaissement de température de 1° Réaumur ; la limite inférieure de la neige éternelle y est de 8,550 pieds de Paris ; pour l'Himalaya, 12,200 pieds ; pour Quito, 15,520 pieds.

II. De la pression de l'air et des vents. Météores aériens. Dans le § 103, nous avons fait connaissance du baromètre comme d'un instrument servant à mesurer la pression de l'air. L'élévation et l'abaissement de sa colonne de mercure nous indiquent que la pression atmosphérique est tantôt plus forte, tantôt plus faible. D'où proviennent ces variations ? Elles dépendent principalement des changements de température qui se produisent dans les différentes régions de l'atmosphère. Et en effet, dans les pays tropicaux, les oscillations du baromètre sont beaucoup moins fortes que chez nous, parce que la température y est plus uniforme. Lorsque à un endroit quelconque l'air est considérablement échauffé, il se dilate, acquiert une pesanteur spécifique moindre, s'élève et se répand au-dessus des couches d'air voisines et plus froides. On s'explique ainsi pourquoi en cet endroit la pression de l'air est plus faible et par conséquent le baromètre plus bas, que dans le voisinage plus froid, où une atmosphère plus dense et plus élevée exerce son action.

228. Mais quand des masses d'air froid et des masses d'air chaud se trouvent en présence, il se produit un mouvement dans cet air, et le courant que nous avons décrit au § 136, comme ayant lieu à la fente de la porte entr'ouverte d'une chambre chauffée, s'établit dans la grande étendue de l'atmosphère, sous forme de vent. C'est pourquoi nous trouvons une relation si intime entre la girouette, le thermomètre et le baromètre.

Les vents qui, dans notre région, viennent du Sud et du Sud-Ouest, et amènent des courants chauds, s'annoncent donc ordinairement par un abaissement du baromètre, puis par la girouette et enfin par l'élévation

du thermomètre. Si, par contre, il nous parvient des courants d'air froid avec les vents du nord et du nord-est, on remarquera une élévation du baromètre et un abaissement de la température. En hiver, cette corrélation est plus marquée qu'en été; dans cette dernière saison, la quantité plus grande de vapeurs que l'air contient par une forte chaleur, ajoute sa tension à celle de la pression de l'air et produit ainsi une élévation de l'état barométrique.

Les vents venant du Sud, du Sud-Ouest et de l'Ouest, passant au-dessus de terres et de mers plus chaudes, nous apportent des courants d'air chargés de vapeur d'eau qui, parvenue dans une contrée plus froide, se précipite bientôt sous forme de pluie; par contre, les vents du Nord, du Nord-Est et de l'Est nous amènent l'air de pays plats et froids et de champs glacés, et se distinguent par leur nature froide et sèche.

Dans la manière dont ces vents alternent entre eux, on a observé la loi de rotation suivante : après le vent d'est, vient celui de sud-est, puis de sud, puis de sud-ouest, ouest et nord-ouest, nord et nord-est, et puis, de nouveau, est. Le vent fait bien parfois un saut en arrière, par exemple, d'ouest à sud-ouest ou sud, mais rarement il renverse la succession établie, de sorte qu'après le vent d'est, viendrait le vent nord-est et du nord.

229. *Les vents alizés* présentent une régularité remarquable. Ils proviennent de ce que l'air échauffé de l'équateur s'élève et provoque ainsi des courants d'air froid et plus dense des pôles vers l'équateur. Mais par la rotation de la terre, ces courants reçoivent en même temps une direction parallèle à l'équateur, de sorte que, comme moyenne de ces deux directions, le vent alizé prend sur l'hémisphère nord la direction nord-est au sud-ouest et sur l'hémisphère sud la direction sud-est au nord-ouest. A la limite où les deux courants se rencontrent, ils se neutralisent, et il en résulte une région de calme qui sépare le vent alizé nord-est du vent alizé sud-est. Ces vents réguliers ne deviennent sensibles qu'à une distance de 80 lieues de la terre et sont d'un grand avantage pour la navigation. C'est le vent alizé nord-est qui conduisit, en 1492, Christophe Colomb des îles Canaries à travers l'océan Atlantique vers sa découverte qui l'a rendu immortel.

Dans l'océan des Indes, il règne, par contre, des vents périodiques, qu'on nomme *moussons* et qui sont occasionnés par les conditions de température de l'immense continent asiatique. D'avril en octobre, règne le vent sud-ouest; pendant tout le reste de l'année, le vent nord-est.

Sur les côtes de la mer, il y a également les vents de *terre* et de *mer* qui alternent avec beaucoup de régularité. Après le lever du soleil, il souffle un vent de la mer vers la terre, parce que cette dernière est beaucoup plus vite échauffée par le soleil que l'eau, de sorte que l'air chaud

s'élevant au-dessus de la terre est remplacé par des courants d'air provenant de la mer (*brise de mer*). Mais après le coucher du soleil, le contraire a lieu; la terre se refroidit plus vite, et il se produit des courants d'air vers la mer (*brise de terre*). A l'entrée des vallées, il y a souvent un phénomène semblable.

Les *ouragans* sont des vents d'une rapidité extraordinaire, parcourant quelquefois en une seconde une distance de 150 pieds. Ils atteignent un haut degré de violence surtout lorsque la vapeur d'eau contenue dans une

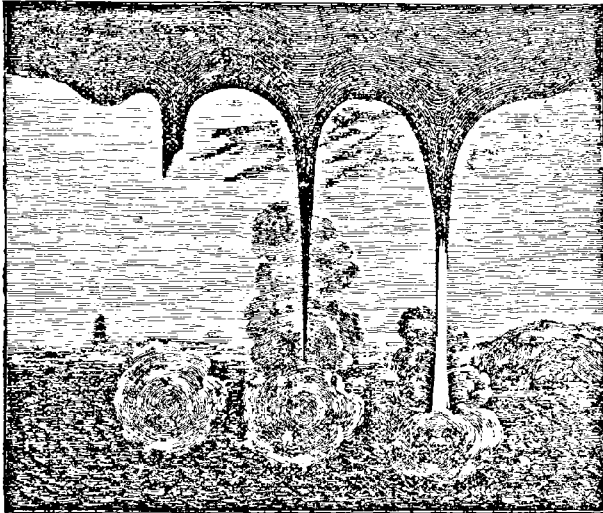


Fig. 208.

partie de l'atmosphère s'est subitement condensée, parce que l'air se précipite alors violemment dans le vide qui en est résulté. C'est pourquoi un ouragan est toujours accompagné d'une forte baisse du baromètre, qui l'annonce à l'avance.

Entre les tropiques, il apparaît souvent des ouragans d'une violence terrible : on les nomme *tornados* ou *hurrycans*; ils se meuvent en tourbillonnant et manifestent dans les destructions qu'ils opèrent une puissance vraiment incroyable.

Les *trombes* sont des vents giratoires d'une nature particulière, qui naissent parfois lorsque des vents ou des ouragans se rencontrent en direction opposée. Elles consistent dans un tourbillon en spirale, qui s'élève verticalement dans l'air, et progressent avec une force telle

qu'elles emportent tout ce qui est mobile sur leur passage, déracinent des arbres, enlèvent et détruisent des maisons. En mer, elles forment ce qu'on nomme les trombes d'eau, qui présentent souvent l'aspect d'une immense colonne liquide se détachant de la mer jusque dans les nuages (fig. 208). Leur effet est souvent extrêmement destructif.

230. De l'humidité de l'atmosphère. Météores aqueux. La quantité d'eau contenue dans l'atmosphère dépend de sa température et de la présence de surfaces d'eau suffisantes pour l'évaporation. Au-dessus des mers des contrées chaudes, un litre d'air contient plus de vapeur aqueuse qu'un même litre d'air des steppes froides du nord de l'Asie ou des déserts sablonneux et brûlants, mais privés d'eau, de l'Afrique. L'air est saturé d'eau, lorsqu'il en contient la quantité qui correspond à sa température ; il est humide quand il se rapproche de cet état ; il est au contraire sec, quand il contient beaucoup moins d'eau qu'il ne le devrait d'après la température qu'il lui est propre. C'est ainsi qu'on s'explique qu'un air chaud d'été, que nous regardons comme sec, peut contenir, sur un même espace, autant d'eau que l'air humide dans une saison froide.

Quand l'air est saturé d'eau, il ne peut en absorber de nouvelles quantités ; c'est pourquoi l'eau qui arrive en contact avec cet air ne s'évapore pas et ne diminue par conséquent pas de quantité. Mais du moment que la température de l'air s'élève, il acquiert de nouveau la faculté d'absorber plus de vapeurs. On possède différents moyens pour juger de la quantité de vapeur aqueuse contenue dans l'air. C'est ainsi qu'il y a des corps, par exemple, le sel de cuisine, qui attirent l'humidité de l'air et deviennent eux-mêmes humides, ou même liquides, comme la potasse. L'eau est attirée avec plus de force encore par le chlorure calcique et par l'acide sulfurique concentré.

D'autres corps modifient leur forme par l'attraction de l'eau. Ce sont les corps poreux, et, parmi eux, surtout ceux composés de tubes capillaires, comme des parties végétales, des cheveux, de la laine, des cordes. Des cheveux bouclés se déroulent à l'air humide, en devenant plus flasques. Le gonflement du bois, la discordance des instruments à cordes et divers autres phénomènes appartiennent à cet ordre de faits. Les appareils qui servent à déterminer l'état d'humidité de l'air se nomment *hygromètres*. Tel est l'hygromètre à cheveu, où la tension plus ou moins grande d'un cheveu fait mouvoir une aiguille qui indique le degré d'humidité de l'air. On reconnaît de la manière la plus exacte l'humidité contenue dans l'air, lorsqu'on en fait passer un volume exactement mesuré par un tuyau contenant une des substances indiquées plus haut, qui attirent et retiennent l'humidité avec la plus grande avidité et qu'on pèse avant et après l'expérience.

Le psychromètre (fig. 209) sert également à indiquer la quantité d'humidité contenue dans l'air. Il consiste en deux thermomètres; la

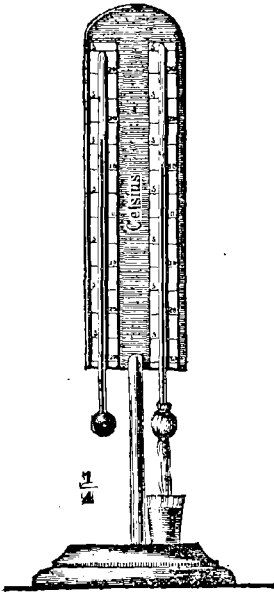


Fig. 209.

boule de l'un est recouverte d'un morceau de toile qu'on humecte avec de l'eau. Si l'air qui entoure l'instrument est complètement saturé de vapeur d'eau, les deux thermomètres seront à égale hauteur; mais si l'air contient moins de vapeur d'eau, il y aura évaporation sur la boule humectée et le mercure subira un refroidissement, de sorte que ce thermomètre sera plus bas que l'autre. La différence sera d'autant plus grande que l'air est plus sec et par conséquent l'évaporation plus forte.

231. Lorsque l'air saturé de vapeur d'eau vient à se refroidir, par exemple par des vents, il ne peut plus dissoudre la même quantité d'eau. Une partie se condense et devient visible sous forme de *brouillard* lorsque cette précipitation de la vapeur a lieu à proximité de la terre, et sous forme de *nuage* lorsque cela a lieu dans la hauteur. Une pareille formation de nuages se fait lors de chaque expiration, quand l'air chaud et saturé

d'humidité qui vient des poumons arrive dans un milieu plus froid.

Le brouillard et les nuages se composent d'un nombre considérable de vésicules d'eau creuses et infiniment petites. Bien qu'elles soient plus pesantes que l'air, elles ne tombent cependant pas aussitôt après leur formation, mais, semblables à des bulles de savon, elles se maintiennent dans l'air, souvent pendant assez longtemps, soutenues par les courants d'air et chassées d'un endroit à l'autre.

D'après leurs masses et leurs formes, on a donné aux nuages différents noms, tels que *cirrus*, *cumulus*, *stratus*, *nimbus*; ce sont les *cirrus* qui se présentent les premiers après un temps parfaitement serein; lorsque, par contre, les *cumulus* à masses entassées commencent à se dissoudre en *cirrus*, cela annonce l'arrivée d'un temps serein. Le *cirrus* occupe les plus hautes régions, car sur les hautes montagnes il offre encore le même aspect; on estime son élévation à plus de 7,000 mètres.

232. Il survient de la pluie, lorsque les vents ne s'opposent plus à la descente des nuages dans les couches inférieures également satu-

rées d'humidité, de sorte que les vésicules, en précipitant de nouvelles quantités de vapeur, grossissent, finissent par former des gouttelettes qui tombent sur la terre en augmentant continuellement de volume.

La quantité d'eau que la pluie envoie dans le courant d'une année à un pays, exerce une grande influence sur son climat, sa fertilité et son état sanitaire. Elle dépend de la situation, de la hauteur et de la température de l'endroit, et la quantité de pluie à l'intérieur des grands continents est incontestablement plus petite que dans les pays du littoral de la mer et dans les îles. On se sert d'appareils spéciaux, qu'on nomme *pluviomètres*, *ombromètres*, pour recueillir la quantité d'eau tombant dans le cours d'une année. On obtient une colonne d'eau qui indique à quelle hauteur le sol se serait couvert d'eau, si celle-ci n'avait pas été absorbée ou ne s'était pas évaporée. La quantité de pluie dans des pays différents offre des différences extraordinaires. Il s'étend de l'intérieur de l'Afrique, y compris le désert de Sahara, jusque dans l'Asie antérieure une région totalement privée de pluie, dont l'étendue équivaut à peu près à l'Europe entière. De même, l'intérieur de l'Asie renferme un grand territoire privé de pluie. L'Amérique possède à sa côte orientale, au Mexique, plusieurs petits territoires, et dans le Pérou et le Chili une large bande, où il ne tombe jamais de pluie.

Pour les endroits suivants, la quantité annuelle de pluie s'élève en pouces de Paris (27 millim.) :

Saint-Pétersbourg.....	17	Douvres.....	44
Stockholm.....	19	Gênes.....	44
Paris.....	21	Rio de Janeiro.....	55
Ratisbonne.....	21	Bombay.....	73
Londres.....	23	Bergen.....	83
Lisbonne.....	25	La Havane.....	85
Rome.....	29	Saint-Domingue.....	100

Comme on le voit, la quantité de pluie dans les pays tropicaux est énorme; car là une période de pluie de plusieurs mois remplace notre hiver.

En Europe, le nombre moyen des journées de pluie pendant une année augmente vers le Nord; en Allemagne, les pluies d'été prédominent, car sur 80 journées de pluie de l'année, 42 se répartissent sur l'été et 38 sur l'hiver. Les pluies d'été fournissent plus d'eau que celles d'hiver, et la quantité de pluie qu'elles livrent est à peu près double de celle de l'hiver.

Il survient de la *neige*, lorsque les petites vésicules d'eau dont se composent les nuages arrivent dans des régions d'une température tellement

basse qu'elles se congèlent. Elles se rassemblent alors en fines aiguilles de glace, qui se groupent en formes régulières, extrêmement gracieuses, dont quelques-unes sont reproduites dans la fig. 210. Tous ces flocons ont pour base une étoile régulière à six rayons. Lorsque la neige, en tombant, parvient dans des couches d'air plus chaudes, il en résulte, par la fonte partielle et par agglomération, des flocons plus grands et irréguliers.

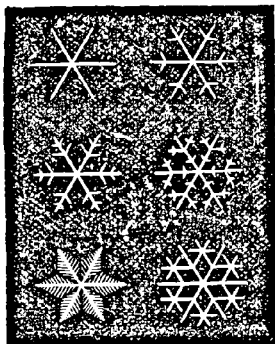


Fig. 210.

En ce qui concerne la *grêle*, il est difficile d'expliquer comment quelquefois au milieu de l'été, par une forte chaleur, il peut se former, dans des nuées basses et noires, une immense quantité de glace sous forme de petits grains qui tombent sur la terre. On admet qu'il se trouve dans ces nuages de la vapeur d'eau qui,

sans prendre la forme solide, se trouverait plus froide que le point de congélation. Alors, aussitôt qu'il tombe des couches nuageuses plus élevées des flocons de neige condensés, ils recevraient, par cette vapeur qui se précipite, une couverture de glace d'où naîtraient les grêlons. Il y en a quelquefois du poids de plusieurs onces, même d'un quart et d'une demi-livre, et ils occasionnent souvent de terribles dégâts. C'est ainsi qu'en 1758, une grêle formidable parcourut toute la France, depuis les Pyrénées jusqu'en Hollande, et détruisit, en six heures environ, les récoltes de 1,059 communes, avec un dommage évalué à 12 millions de florins (25 millions de francs).

Rosée et givre. Après le coucher du soleil, la surface de la terre émet, par rayonnement, la chaleur qu'elle a absorbée pendant le jour. De cette manière, elle se refroidit quelquefois au point que les vapeurs dissoutes dans les couches inférieures de l'air se condensent en eau, qui s'applique sous forme de rosée sur tous les objets. Comme les plantes, surtout les graminées, sont douées d'un rayonnement de calorique plus fort que la terre et la pierre, les premières paraissent le matin particulièrement couvertes de rosée. Lorsque le ciel est couvert, le rayonnement de la chaleur est diminué par les nuages ; c'est pourquoi il n'y a pas alors de rosée. Sous des tentes, des couvertures et des tables placées en plein air, il ne se produit pas de rosée.

Si les objets sur lesquels la rosée tombe sont refroidis au-dessous du point de congélation, elle se transforme en glace et se nomme *serain*, *rosée blanche*, *givre*.

233. Phénomènes lumineux dans l'atmosphère. Météores lumineux. Cette couleur bleue charmante que présente le ciel quand il est clair, est due à la présence de cette enveloppe d'air qui, sous le nom d'atmosphère, entoure la terre. Les molécules d'air, en réfléchissant la lumière du soleil et en la dispersant dans tous les sens, servent non-seulement à éclairer l'atmosphère, mais elles donnent aussi au ciel sa couleur, parce qu'elles réfléchissent particulièrement la lumière bleue. Si l'air n'existait pas ou s'il était parfaitement transparent, tout l'espace céleste paraîtrait noir. En effet, au-dessus de très-hautes montagnes, le ciel est d'un bleu très-foncé, parce que la couche atmosphérique, moins haute et moins dense, laisse pénétrer le fond noir de l'espace universel. Même dans la plaine, le ciel au-dessus de notre tête paraît d'un bleu plus foncé qu'à l'horizon, parce que, dans cette dernière direction, nous regardons à travers une couche d'air plus épaisse que celle qui est au-dessus de nous. Des objets éloignés, surtout les montagnes, reçoivent une coloration bleuâtre par la couche d'air qui se trouve entre eux et notre œil; nous apprécions en réalité, comme dans la peinture de paysage, les distances par les gradations du ton bleu de l'air.

Mais lorsqu'il se trouve dans l'air de la vapeur d'eau qui réfléchit de la lumière blanche, le bleu du ciel pâlit, et on voit quelquefois un voile blanc envelopper tout le ciel. Par contre, les vapeurs d'eau, pendant certaines transitions de leur densité qui arrivent le matin et le soir, donnent au ciel les colorations jaune ou rouge qui, sous le nom de *ciel rouge du matin* et *ciel rouge du soir*, constituent un de ses plus beaux aspects. Le premier doit être considéré comme le présage d'un temps pluvieux, tandis que le rouge du soir promet une journée sereine pour le lendemain.

234. L'arc-en-ciel, tant par son apparence magnifique que par la signification symbolique que lui donne la Bible, est un phénomène si remarquable, qu'il attire tout particulièrement notre attention. On sait généralement que, pour qu'il se produise, il faut la présence simultanée d'un soleil lumineux et de pluie, et l'on est naturellement porté à le considérer comme un effet de la réfraction et de la décomposition de la lumière, lorsqu'on se rappelle le spectre solaire provoqué à travers le prisme, les couleurs de ce spectre correspondant pour le ton et leur succession à celles de l'arc-en-ciel. Un autre phénomène encore nous démontre la manière dont l'arc-en-ciel se produit. On a souvent l'occasion d'observer suspendue à l'herbe ou à une feuille une goutte de pluie qui envoie à l'œil un rayon lumineux d'un rouge vif. En changeant quelque peu la hauteur de l'œil, on parvient facilement à voir la même goutte d'eau successivement verte, jaune, bleue, violette, ou bien aussi tout à fait incolore. Cela prouve

que les rayons lumineux tombant sur une goutte d'eau sphérique sont réfléchis et en même temps décomposés en rayons colorés, qui deviennent visibles à l'œil quand celui-ci les rencontre dans la direction de leur sortie. Nous pouvons par conséquent concevoir que de sept différentes gouttes, les sept couleurs prismatiques puissent simultanément parvenir à notre œil. Dans la pluie de poussière que forment des jets d'eau et des cascades, on a souvent l'occasion d'observer le même phénomène.

Examinons tout d'abord comment une goutte d'eau (fig. 211) réagit sur des rayons solaires qui tombent parallèlement sur elle. En y entrant ils

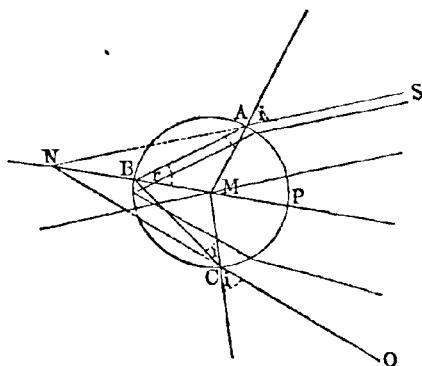


Fig. 211.

sont réfractés; ils tombent ensuite sur sa face postérieure et sortent en partie. Mais une autre série de rayons lumineux est réfléchi de la paroi postérieure, sort par la paroi antérieure en subissant une nouvelle réfraction. Ce que nous venons de dire se comprend facilement, si on poursuit le rayon lumineux $S A B C O$. Mais si nous poursuivons de la même manière le second rayon parallèle avec $S A$,

nous voyons qu'en sortant il n'est plus parallèle à $C O$. En effet, les rayons réfléchis par la goutte d'eau sont tellement divergents après leur sortie, que leur effet lumineux se trouve dispersé et considérablement affaibli. Mais il résulte d'une exploration attentive qu'un assez grand nombre de rayons lumineux sortent en direction parallèle, lorsque l'angle $S N O$, formé par le rayon incident $S A$ avec le rayon sortant $C O$, mesure à peu près $42^{\circ} 30'$. Lorsque par conséquent l'œil se trouve dans la direction $O C$, il reçoit une impression lumineuse distincte et de couleur rouge.

L'arc-en-ciel se produit lorsque les rayons lumineux parallèles $S S$ (fig. 212, page suivante) provenant du soleil, qui se trouve au dos de l'observateur, frappent une paroi formée par une pluie qui tombe. Si l'angle $S V O$ mesure $42^{\circ} 30'$, la goutte V envoie à l'œil de la lumière rouge. Mais cela n'a pas lieu seulement dans cette place, mais de la part de toutes les gouttes sur lesquelles des rayons parallèles à S tombent sous un angle égal de $42^{\circ} 30'$; c'est ce qui arrive pour toutes les gouttes situées dans l'arc que décrit sur la paroi de pluie la ligne $O V$, lorsque

nous la concevons tournant autour de l'axe OP . La ligne OV décrit alors en même temps la superficie d'un cône, dont le sommet est dans

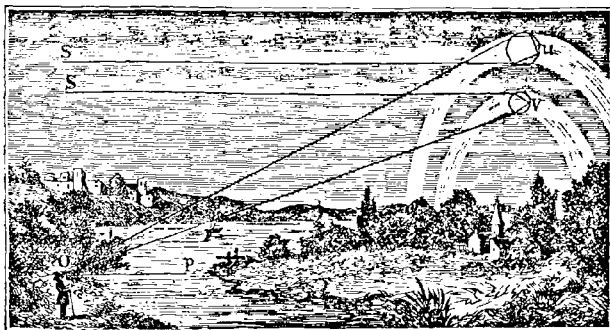


Fig 212

l'œil de l'observateur et dont l'axe OP , si on se le figure prolongé, tombe dans le soleil. L'œil apercevrait donc, sur toute la paroi que forme l'ensemble des gouttes de pluie, une ligne rouge circulaire, si le soleil n'était qu'un seul point lumineux; mais il est un disque composé d'un grand nombre de points lumineux et d'un diamètre apparent de 30 degrés. C'est pourquoi nous remarquons une bande rouge arquée d'une largeur correspondante.

De la même manière que s'est produit cette bande lumineuse rouge, l'œil reçoit, d'un cercle de gouttes de pluie situé plus bas, des rayons lumineux violets. Ce sont eux qui sortent sous un angle de $40^{\circ} 30'$. Entre le rouge et le violet se trouvent les autres couleurs, dans l'ordre du spectre solaire.

Notre dessin (fig. 212) montre un arc-en-ciel au moment du lever du soleil, alors que les rayons solaires sont parallèles à la surface de la terre. L'axe partant de l'œil de l'observateur dans la direction de OP prolongé atteint le centre de l'arc-en-ciel, qui se trouve juste à l'horizon; l'arc visible au-dessus de l'horizon est par conséquent un demi-cercle. Mais à mesure que le soleil s'élève, le centre de l'arc descend de plus en plus en dessous de l'horizon et la partie d'arc visible devient toujours plus petite. Lorsque le soleil a enfin atteint une hauteur de $42^{\circ} 30'$ au-dessus de l'horizon, alors tout l'arc-en-ciel tombe en dessous de l'horizon et il n'est plus visible. C'est par cette raison qu'entre 10 heures du matin et 4 heures du soir, nous ne voyons jamais, en été, d'arc en ciel. Cela explique, en outre, comment il se fait que nous ne voyons jamais que des

arcs colorés plus ou moins grands; cependant il arrive parfois que, du sommet des montagnes ou en mer, du haut d'un mât, on observe des arcs-en-ciel formant un cercle complet.

Lorsque l'arc-en-ciel apparaît avec de vives couleurs, on aperçoit au dessus de lui un second arc-en-ciel plus grand, mais beaucoup plus pâle, et dont les couleurs sont placées dans l'ordre inverse; il se produit, comme on le voit fig. 212, par une seconde réfraction et une seconde réflexion, ce qui explique sa coloration plus faible.

235. Ce qu'on nomme des *cercles autour du soleil et de la lune*, sont des anneaux lumineux, quelquefois colorés, qui entourent ces corps célestes, tantôt de très-près, tantôt à de grandes distances, et qui se produisent par la réflexion et la réfraction de la lumière. Par les temps de brouillard et dans une chambre remplie de vapeur, on voit quelquefois un phénomène semblable autour de la lumière de la bougie. Ces cercles annoncent un temps pluvieux. C'est sur une réfraction de la lumière dans l'atmosphère, qu'est basée l'apparition de soleils et de lunes accessoires, que l'on observe quelquefois.

236. Comme les *étoiles filantes*, les *boules de feu* et les *aérolithes* seront examinées dans la partie astronomique de ce livre, il ne nous reste plus qu'à consacrer quelques mots aux *feux follets*. On entend par là de petites flammes sautantes et dansantes, que l'on dit remarquer surtout au-dessus des marais et des marécages, mais aussi sur des champs et des cimetières. Jusqu'ici la science est encore tout à fait incertaine sur ce phénomène, qui bien que devenu proverbial dans la bouche de tout le monde, apparaît si rarement que nous n'en possédons pas encore d'observation scientifique, et que son apparition est même mise en doute.

237. Les *phénomènes électriques de l'atmosphère* se manifestent de la manière la plus grandiose sous forme d'*orages*. Lorsque le ciel est couvert de nuages noirs d'où sortent en zigzags lumineux éclairs sur éclairs, lorsque le tonnerre roule avec fracas et se perd en sourds grondements dans le lointain, nous n'avons effectivement autre chose que des étincelles immenses, longues quelquefois de plusieurs lieues, allant d'un nuage sur un autre ou sur la terre, et le tonnerre n'est autre chose que le crépitement qui accompagne la plus petite étincelle soustraite de l'électrophore, mais porté cette fois au suprême degré.

Bien que nous ne possédions pas de notion bien exacte sur la manière dont l'électricité libre s'accumule dans les nuages, Franklin pourtant, en 1752 déjà, en a démontré la présence, en faisant élever dans les airs, pendant un orage, un cerf-volant en papier. La ficelle conduisait suffisamment d'électricité pour manifester des phénomènes électriques. On peut obtenir ceux-ci plus forts, en tressant dans la ficelle un fil métallique mince. On a reconnu depuis, que l'*atmosphère* se trouve très-souvent dans

un état électrique, même lorsque nous n'apercevons pas d'orage, de sorte que ces courants électriques remarquables sont répandus partout, exercent une certaine influence et produisent maints phénomènes, qui sont encore pour nous des énigmes.

Lorsqu'un nuage chargé d'électricité positive se rapproche de la terre, il agit par influence sur l'électricité de celle-ci ; l'électricité négative de la terre s'écoule dans le nuage jusqu'à ce que ces deux électricités se soient neutralisées. De cette manière, la plupart des nuages orageux passent au-dessus de la terre sans être accompagnés de phénomènes sensibles.

Lorsque le nuage électrique s'est beaucoup rapproché de la terre et qu'il se trouve à la surface de celle-ci des objets proéminents qui favorisent particulièrement l'écoulement de l'électricité, comme des tours, des arbres, des sommets de montagne, etc., les deux électricités se réunissent avec dégagement d'une étincelle violente que nous désignons par l'expression « la foudre est tombée ».

Ce qu'on nomme dans les orages *le choc en retour*, se produit, absolument comme dans nos appareils électriques, de la manière suivante : Lorsqu'un nuage chargé, par supposition, d'électricité positive se trouve à proximité de la surface de la terre, il fixe une quantité correspondante d'électricité négative de celle-ci. Mais lorsqu'un éclair vient subitement décharger le nuage de son électricité positive, l'électricité négative de la terre, qui avait été attirée à la superficie par le nuage retourne subitement dans le réservoir commun, c'est-à-dire, l'intérieur de la terre et produit ainsi cette commotion, que l'on nomme le choc en retour. Il est moins violent que la foudre ; il n'enflamme pas, et lorsqu'un homme en a été tué, on ne découvre sur celui-ci aucune trace de violence extérieure.

238. *Les paratonnerres* diminuent le danger d'un orage en amenant constamment au nuage électrique l'électricité de nom contraire. De cette manière, ils sont en état soit d'annuler totalement l'électricité du nuage, soit au moins de l'amoindrir. Mais si, en réalité, une étincelle jaillit du nuage, elle tombera de préférence sur la haute tige de fer dont le paratonnerre se compose, et comme celle-ci est conduite à l'extérieur du bâtiment dans la terre, le courant électrique suivra ce bon conducteur et ne touchera pas le bâtiment. On peut admettre qu'un paratonnerre convenablement construit garantit un espace circulaire dont le rayon s'élève à environ 20 pieds, ou d'un rayon double de sa hauteur.

Tout le monde sait que l'on n'entend le tonnerre qu'après avoir aperçu l'éclair. Cela provient de ce que le son se propage beaucoup plus lentement que la lumière. Ce n'est que lorsqu'un orage se décharge immédiatement au-dessus de nos têtes, et surtout lorsque la foudre tombe à proximité, que nous apercevons et entendons simultanément l'éclair et le tonnerre.

Plus, au contraire, l'intervalle entre les deux est grand, plus l'orage est éloigné. Le tonnerre ne s'entend pas à de très-grandes distances; le plus grand intervalle qui ait été observé jusqu'ici entre l'éclair et le tonnerre, est de 72 secondes, ce qui fait conclure à une distance d'environ 30 kilomètres; c'est une distance comparativement petite eu égard à celle de 150 kilomètres, à laquelle on a déjà entendu le grondement du canon. Le roulement du tonnerre résulte de ce que le son qui se produit aux différents endroits par où l'éclair vole, ne parvient qu'à successivement à l'oreille. Lorsqu'un orage est très-éloigné, on ne voit que l'éclair, sans entendre le tonnerre, et on nomme cela des exhalaisons ou des éclairs de chaleur.

Les effets de la foudre sont toujours très-violents et parfois terribles. Elle détruit tout obstacle qu'elle rencontre; elle fond les métaux, enflamme les corps combustibles et tue les hommes et les animaux. Ordinairement, on ne rencontre sur ceux-ci que peu de lésions; et on observe, en même temps, une odeur particulière, asphyxiante, sulfureuse, que l'on remarque du reste déjà, mais à un degré moindre, sur de fortes machines électriques. Même dans la nature inorganique, on rencontre des traces de l'effet de coups de foudre terribles. C'est ainsi que, sur les rochers de montagnes, on rencontre des endroits qui sont vitrifiés à la superficie par la chaleur de la foudre qui y est tombée. Dans les plaines sablonneuses de la basse Allemagne, on trouve ce qu'on nomme les *tubes fulminaires* ou *fulgurites* d'une largeur de 1 à 2 pouces et d'une longueur de 10 à 20 pieds. Vitrifiés à l'intérieur et consistant extérieurement en grains de sable fondus ensemble, ils sont l'œuvre d'un instant, et se produisent au moment où la foudre tombe sur le sol.

Comme l'électricité s'accumule surtout dans des pointes, on doit éviter, pendant l'orage, la proximité d'objets élevés, tels que des tours, des arbres, de hautes cheminées. Ce qui est surtout dangereux, ce sont les arbres ou des groupes d'arbres isolés en pleine campagne, et chaque année la foudre y atteint de malheureuses victimes, précisément là où elles cherchaient un abri contre la pluie et l'orage.

239. *L'aurore boréale*, un des phénomènes naturels les plus splendides, n'a pas encore obtenu jusqu'ici d'explication bien satisfaisante. Elle paraît cependant se rapporter au magnétisme terrestre; car, en premier lieu, les aiguilles magnétiques éprouvent une oscillation particulière lorsque l'aurore boréale se montre d'une manière bien vive, et, en second lieu, l'aurore boréale apparaît aussi dans une direction qui correspond au pôle magnétique nord. Au pôle sud, ce météore se montre également; cependant, son apparition a été observée principalement au pôle nord, qui est plus près de nous et qui nous est mieux connu.

L'aurore boréale, dans sa splendeur la plus parfaite, forme pour ainsi

dire un immense ruban composé de rayons de feu, ruban placé en demi-cercle au-dessus de l'horizon, de telle sorte que ses extrémités paraissent toucher la terre. Elle fait l'effet d'une coupole de feu portée par des colonnes lumineuses. Une superbe variation de couleurs, un accroissement et une disparition alternatifs des rayons lui donnent un aspect très-varié. Elle éclaire souvent totalement les nuits, longues de plusieurs semaines, des malheureux habitants des pays polaires, et même dans nos contrées, sa lueur jaune rougeâtre se montre quelquefois distinctement au ciel dans la direction du Nord.

Mais ce n'est que dans des latitudes plus élevées, qu'on peut la voir dans toute sa beauté, et le dessin par lequel nous terminons l'exposé des phénomènes physiques, ne peut naturellement qu'en donner une image très-incomplète.

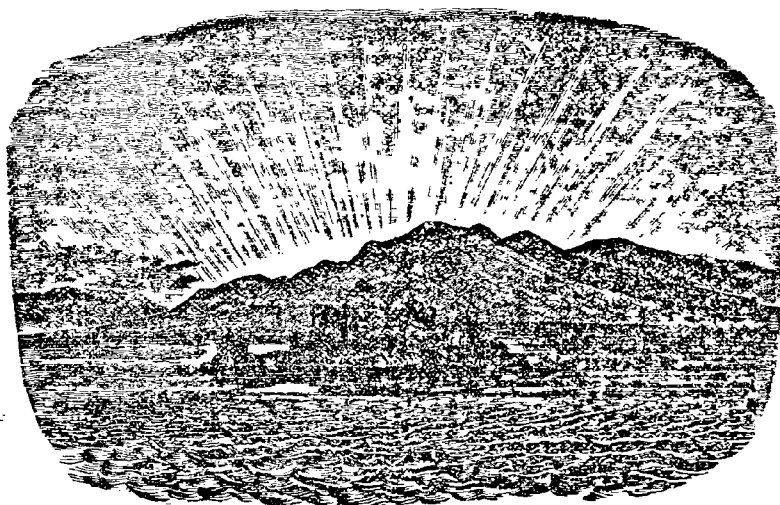


TABLE DES MATIÈRES.

	PAGES.
APERÇU HISTORIQUE SUR LES SCIENCES NATURELLES	3
Introduction. Division	9

PHYSIQUE.

Introduction à la physique	19
Division de la physique	21
I. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS. §§ 7-21.	22
Étendue, 22. Impénétrabilité, 24. Inertie, 25. Divisibilité, 25. Porosité, 26. Dilatabilité et compressibilité, 27. Pesanteur, 27. Poids, 30. Densité, 31.	
II. ÉTATS PARTICULIERS DE LA MATIÈRE. §§ 22-32	33
Cohésion, 34. Cristallisation, 35. Élasticité, 35. Ténacité, 36. Adhésion, 37. Endosmose, 39. Absorption des gaz, 40.	
III. ÉQUILIBRE ET MOUVEMENT. §§ 33-113	41
A. Équilibre et mouvement des corps solides	<i>ib.</i>
a) De l'équilibre des forces	<i>ib.</i>
Des forces, 41. Composition des forces, 43. Forces parallèles, 44. Centre de gravité, 45. Parallélogramme des forces, 48. Leviers, 50. Poulies, 51. Plan incliné, 56. Vis, 59.	
b) Du mouvement	60
Chute des corps, 62. Vitesse moyenne, 64. Le pendule, 64. La force centrifuge, 67. Le choc, 69. Le frottement, 70.	
c) Quelques notions de mécanique	72
Le treuil ou la tour, 72. Propagation du mouvement, 73. Le moulin, 77. L'horloge et la montre, 80.	
B. Équilibre et mouvement des corps liquides	86
Presse hydraulique, 88. Aréomètre, 92.	
C. Équilibre et mouvement des corps gazeux	94
Baromètre, 98. Pompe pneumatique, 100. Pompe aspirante, 104. Pompe à incendie, 105. Syphon, 106.	

	PAGES.
IV. LE SON. §§ 114-127	407
Oscillation ou vibration, 108. Ondulation, 109. Interférence, 110. Réflexion et réfraction, 111.	
V. LA CHALEUR. §§ 128-156	117
Dilatation par la chaleur, 118. Thermomètre, 119. Ébullition, Évaporation, 124. Des vapeurs, 128. La machine à vapeur, 129. Transmission du calorique, 135. Chaleur latente, 139. Calorique spécifique, 140.	
VI. LA LUMIÈRE. §§ 157-183	141
Réflexion, 142. Miroirs, 142. Miroirs creux ou concaves, 144. Réfraction de la lumière, 146. Lentilles, 148. Instruments d'optique, 151. De la vue, 154. Angle visuel, 158. Illusions optiques, 160. Les couleurs, 161. Polarisation de la lumière, 165.	
VII. LE MAGNÉTISME. §§ 184-192.	165
Aimant, 165. Aiguille aimantée, 165. Boussole, 166.	
VIII. ÉLECTRICITÉ. §§ 193-220	170
Électricité par frottement, 171. Diverses espèces d'électricités, 172. Électroscope, 173. Électrisation par influence, 173. Électrophore, 175. Bouteille de Leyde, 175. Condensateur, 177. Machines électriques, 177. Électricité par contact ou galvanisme, 180. Pile de Volta ou chaîne de Galvani, 181. Piles à effet constant, 183. Effets du courant électrique, 184. Électro-magnétisme, 185. Le télégraphe électrique, 188. Thermo-électricité, 191.	
IX. LA MÉTÉOROLOGIE. §§ 221-239.	192
Répartition de la chaleur sur la surface de la terre, 193. Température moyenne, 195. De la pression de l'atmosphère et des vents. Météores aériens, 201. De l'humidité de l'atmosphère. Météores aqueux, 203. Phénomènes lumineux dans l'atmosphère. Météores lumineux, 208. Arc-en-ciel, 208. Feux follets, 211. Phénomènes électriques dans l'atmosphère, 211. Paratonnerre, 221. L'aurore boréale, 213.	

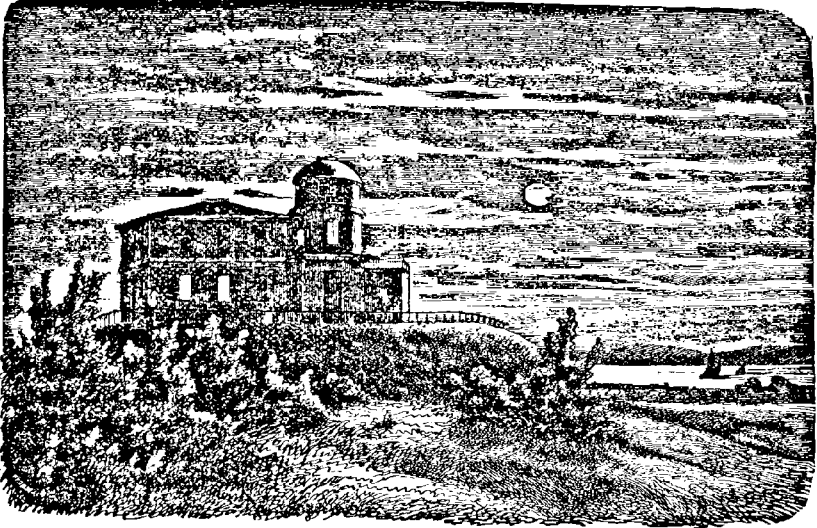
LE
LIVRE DE LA NATURE



ASTRONOMIE

sr

1



ASTRONOMIE.

Puis Dieu dit : Qu'il y ait des luminaires dans l'étendue des cieux, pour séparer la nuit d'avec le jour et qui servent de signes pour les saisons, et pour les jours et pour les années.

GENÈS, I, 14.

1. L'Astronomie est la science des corps célestes et de leurs mouvements. Eu égard à son objet, l'astronomie est une branche de la physique, mais l'importance et l'étendue des phénomènes astronomiques en réclament bien une étude spéciale. Ce sont principalement des phénomènes de mouvement qui fixent ici notre attention, et les lois qui les régissent sont absolument les mêmes que celles que nous avons en partie démontrées en physique à propos de l'équilibre et du mouvement. Aussi l'astronomie a-t-elle été définie, avec assez de justesse, *la mécanique du ciel*.

2. Le domaine où se présentent les phénomènes astronomiques est l'espace universel ou le ciel, et les masses qui y apparaissent se nomment les *corps célestes*, ou plus communément les *astres*. De même qu'en physique nous avons désigné l'espace comme quelque chose d'*infini*, de même nous devons envisager les corps célestes comme *innombrables*. Ces

choses incompréhensibles qui dépassent notre imagination, ces distances insaisissables et ces masses immenses de matière avec une vitesse de mouvement également inconcevable, — tout cela donne aux phénomènes de l'astronomie et par conséquent à cette science un cachet sublime et solennel que ne possèdent pas les autres branches de la science naturelle.

« L'aspect de distances illimitées et d'élévations incommensurables, le vaste océan aux pieds de l'homme et l'océan plus grand encore au-dessus de sa tête, arrachent son esprit à la sphère étroite de la réalité, à l'oppression et à la captivité de la vie physique. »

Bien que ces mots de Schiller désignent suffisamment le caractère élevé des phénomènes astronomiques, il ne s'ensuit nullement que l'astronomie soit, comme on l'a quelquefois avancé, la première et la plus haute de toutes les sciences naturelles. Car pour le naturaliste, auquel tout le domaine de la nature appartient, les diverses branches isolées des sciences naturelles ne constituent qu'autant d'anneaux d'une chaîne sans fin dont on ne peut détacher un chaînon sans détruire la continuité du tout. Des idées erronées sur la croissance de la plante la plus insignifiante sont aussi indignes d'un esprit qui recherche la vérité que certaines anciennes opinions absurdes sur les mouvements des astres.

3. Pour l'exploration de son sujet, l'astronomie a tout particulièrement besoin des mathématiques; car les questions les plus importantes se rapportent à l'espace, au nombre et au temps. De quelle grandeur ou à quelle distance, ou bien combien de temps et combien de fois?— Telles sont les premières questions que l'on adresse à l'astronomie.

Les mathématiques et surtout la géométrie transcendante sont seules en état de résoudre ces problèmes, et il est certain que ce sont précisément les besoins de l'astronomie qui ont fait atteindre aux sciences mathématiques leur haut degré de développement.

C'est pourquoi il est impossible de suivre exactement les voies par lesquelles les astronomes sont arrivés à leurs vérités les plus importantes, sans posséder soi-même des notions étendues en sciences mathématiques. En revanche, les découvertes et les lois auxquelles des recherches laborieuses ont fait parvenir les savants, se présentent d'une manière assez simple pour pouvoir être comprises même par celui qui n'est pas mathématicien de profession.

L'astronomie exige en outre souvent l'emploi de comparaisons pour faciliter l'intelligence de quelques-uns de ses phénomènes. Il est déjà bien difficile de se faire une idée de la grandeur de notre globe terrestre, mais il est plus difficile encore de se représenter le soleil qui est plusieurs millions de fois plus grand. Ce rapport se comprend déjà mieux si l'on compare la terre à un grain de millet et le soleil à la boule d'un jeu de quilles. Qui pourrait parvenir à se figurer l'espace infini avec les innombrables astres

qui s'y meuvent? Mais on peut le comparer à l'espace intérieur d'une chambre où tourbillonnent un nombre infini de grains de poussière, tels qu'on les voit lorsqu'un rayon isolé de soleil pénètre dans cette chambre.

4. Aussi vieille qu'est l'histoire des hommes, aussi vieille est l'astronomie.

Car ce même ciel qui plane encore aujourd'hui au-dessus de nous, réjouissait, il y a des milliers d'années déjà, le regard de l'homme par ses innombrables astres lumineux, et a dû nécessairement fixer son attention. Nous pouvons même dire que le fils inculte du désert et l'habitant nomade de steppes étendues accordent plus d'attention au ciel et à ses phénomènes que la population de nos villes. Pour ceux-là les étoiles sont en même temps l'horloge, le guide, la boussole, le baromètre et le calendrier, tandis que des rues étroites de nos villes il ne s'élève que rarement un regard vers le petit coin de firmament que les constructions laissent à découvert.

Aussi devons-nous une série d'observations astronomiques très-importantes à ces peuples de la plus haute antiquité, qui, fort peu avancés dans les sciences et les arts, avaient, comme pâtres et comme chasseurs, besoin du ciel étoilé pour déterminer le temps et le lieu.

5. L'astronomie possède incontestablement sur les autres branches des sciences naturelles cet avantage qu'on peut la cultiver jusqu'à un certain point sans aucun auxiliaire artificiel. Dès que le grand astre du jour s'est couché, on voit apparaître, dans l'obscurité naissante, des étoiles lumineuses. Ce sont d'abord les plus grandes qui se montrent, puis les plus petites, et finalement le firmament se présente au regard étonné recouvert de myriades de points lumineux. C'est ce ciel nocturne qui constitue le champ d'observation accessible à chacun, et où, sans autre auxiliaire, l'observateur attentif voit se dérouler une quantité de phénomènes importants.

Tandis que l'étude des autres phénomènes physiques nécessite immédiatement nombre d'appareils artificiels et coûteux ; que la chimie appelle à son aide une grande quantité de substances et d'appareils, l'astronomie n'a qu'à élever le regard vers la voûte céleste et elle se trouve en plein dans son atelier, au milieu de phénomènes incessants.

Quelque accessible que soit une série des phénomènes astronomiques, il en est cependant encore un plus grand nombre inaccessibles à l'œil nu. C'est pourquoi l'étude approfondie des phénomènes célestes réclame le secours d'instruments dont l'acquisition et le placement entraînent de grands frais, et que l'exploration astronomique n'est permise qu'à bien peu de personnes.

C'est encore pour le même motif que les notions astronomiques des anciens sont restées à un certain degré d'imperfection, car ce n'est que du

moment où l'invention du télescope a fourni à l'œil de nouvelles armes, qu'on a pu étendre les conquêtes dans le domaine céleste, et les résultats des observations se sont multipliés en raison directe du perfectionnement des instruments.

6. L'influence incontestable du soleil sur la surface de la terre, pour laquelle il est une source vivifiante de lumière et de chaleur, les modifications si remarquables de la lune par rapport à sa forme et à son temps d'apparition, durent dès longtemps faire acquérir à ces deux astres la plus haute importance aux yeux des peuples; le culte dont ils sont encore aujourd'hui l'objet en est une preuve suffisante. Dès lors il n'y avait plus qu'un pas à faire pour que l'on en vint à attribuer même aux astres plus petits des relations avec la terre et ses habitants, à un degré moindre toutefois qu'aux deux premiers.

On comprend facilement qu'à une époque où régnaient des idées erronées sur la nature des astres et de leurs phénomènes, on leur ait attribué une connexion intime avec les destinées des hommes. Pour chaque grand événement, pour toute personnalité éminente que l'esprit inculte et borné des peuples ne parvenait pas à s'expliquer au moyen des conditions naturelles de leur apparition, on allait en rechercher la cause dans les astres.

C'est ainsi que naquit *l'astrologie*, ce fatras bizarre de suppositions gratuites, d'illusions et d'erreurs sur la nature des étoiles. Pendant des siècles elle vint troubler et obscurcir le regard, au lieu de l'éclairer et de l'élargir; mêlant à la science la superstition et la tromperie, elle lui valut le mépris et les poursuites, entrava considérablement ses progrès, jusqu'à ce que l'esprit humain, libre de préjugés et se basant sur l'observation, brisa les liens qui le retenaient captif et finit par reconnaître que la terre est en réalité un point dans l'espace, mais non le point central, que les étoiles sont des mondes spéciaux, mais non point des bornes et des signes pour les destins des êtres périssables de cette petite terre.

7. Nous allons essayer d'expliquer le développement des phénomènes astronomiques les plus importants; mais nous réussirions difficilement sans exposer d'abord quelques notions préliminaires, indispensables à la science pour rechercher et exprimer exactement ses résultats. Ces moyens auxiliaires sont pour la plupart empruntés à la géométrie; et bien que l'on puisse en partie considérer ces notions comme généralement connues, nous croyons qu'un petit résumé facilitera l'intelligence de ce qui suivra. Après nous être familiarisés un peu de cette manière avec le mode d'envisager, avec le langage et les termes de l'astronomie, nous passerons à l'étude des phénomènes, que de notre domicile nous voyons se produire dans l'espace pendant le jour et pendant la nuit. Nous arriverons ainsi à une notion exacte sur l'arrangement des corps célestes et nous redresserons les opinions erronées des temps anciens.

Nous diviserons donc l'astronomie en trois parties :

- I. *Notions préliminaires pour l'observation astronomique.*
- II. *Phénomènes astronomiques généraux.*
- III. *Phénomènes astronomiques particuliers.*

I. Notions préliminaires pour l'observation astronomique.

S. Angles. Lorsque nous traçons sur une surface plane, sur une feuille de papier par exemple, deux lignes ab et cd (fig. 1), qui se coupent mutuellement au point m , le plan sera divisé en quatre parties.

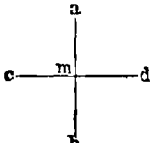


Fig. 1.

On nomme chacune de ces parties un *angle* ; les deux lignes qui le délimitent se nomment *les côtés*, et le point où elles se coupent s'appelle le *sommet* de l'angle. C'est ainsi que am et cm constituent les deux côtés de l'angle amc .

Si nous découpons, au moyen de ciseaux, les quatre angles qui se trouvent autour du point m , et que nous les appliquions les uns sur les autres, s'ils se recouvrent exactement, ils sont de même grandeur et chacun d'eux s'appelle un *angle droit*. On dit dans ce cas que les lignes ab et cd se coupent à angles droits, ou bien qu'elles sont *perpendiculaires* l'une sur l'autre.

Si nous considérons, par contre, la fig. 2, le simple aspect nous dit que les lignes $a'b'$ et $c'd'$ ne se coupent pas à angles droits et qu'elles divisent la surface plane en quatre angles qui ne sont pas tous égaux entre eux. Si nous découpons ces angles pour les comparer aux angles enlevés de la fig. 1, il est évident que l'angle $a'm'c'$ est plus petit que l'angle droit amc , tandis que l'angle $a'm'd'$ est considérablement plus grand qu'un angle droit.

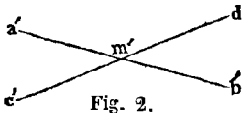


Fig. 2.

Un angle plus petit que l'angle droit s'appelle un *angle aigu* ; un angle plus grand que l'angle droit se nomme un *angle obtus*. Autour du point m' il y a donc deux angles aigus $a'm'c'$ et $d'm'b'$, avec les deux angles obtus $a'm'd'$ et $c'm'b'$. En poursuivant cet examen, nous nous convainçons qu'autour d'un point donné il ne peut y avoir plus de quatre angles droits, ni plus de trois angles obtus, mais qu'il peut y avoir, par contre, un nombre infini d'angles aigus ; et ensuite que des quatre angles représentés par la fig. 2, les deux *angles opposés* au sommet sont *égaux*, tandis que les deux *angles adjacents* $a'm'c'$ et $a'm'd'$ sont inégaux, mais valent ensemble deux angles droits.

Tous ces rapports sont entièrement indépendants de la longueur des

côtés qui circonscrivent les angles. En effet, figurons-nous les lignes $a b$ et $b c$, ou bien $a' b'$ et $c' d'$ prolongées à l'infini, les angles m et m' formés à leur point d'intersection n'en subiront pas la moindre modification.

9. La grandeur d'un angle détermine donc toujours l'inclinaison mutuelle des deux lignes qui le circonscrivent. De même la situation d'un point par rapport à un plan se trouve déjà en partie établie lorsque nous connaissons l'angle que forme avec le plan une ligne tirée de ce point vers l'un ou l'autre point du plan. C'est ce qui donne à l'angle une importance telle, que nous pouvons réellement le désigner comme la clef invisible des plus grandes vérités, et qu'une grande partie des occupations de l'astronome observateur consiste dans des déterminations d'angles.

Il s'agit maintenant de savoir comment on détermine la grandeur d'un angle.

Pour cela on a recours au cercle. Si, autour du point d'intersection m (fig. 3), des deux lignes $a b$ et $c d$ qui se coupent à angles droits, je trace un cercle ($o p q r o$), je vois qu'au-dessus de chacun des quatre angles droits se

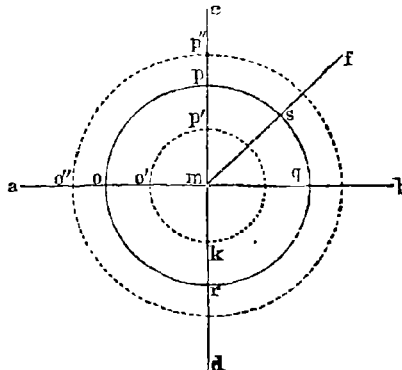


Fig. 3.

trouve intercepté un arc, qui est exactement le quart du cercle ; tel est, par exemple, au-dessus de l'angle $a m c$ le quart de cercle $o p$. La grandeur des cercles est tout à fait indifférente, ce que prouvent les cercles ponctués ; car $o' p'$ et $o'' p''$ sont tout aussi bien des quarts de cercle que $o p$. L'angle aigu $c m f$ est par conséquent égal à la moitié d'un angle droit, puisque l'arc qu'il intercepte représente un huitième de cercle, et l'angle obtus $a m f$ équivaut à un et

deux angles droits, puisque son arc équivaut à trois huitièmes du cercle.

Nous pouvons de cette manière déterminer très-exactement la grandeur d'un angle, lorsque nous indiquons quelle fraction du cercle forme l'arc intercepté par ses côtés.

A cet effet, on divise le cercle entier en 360 parties égales, que l'on nomme *degrés*. Chaque degré se subdivise encore en 60 parties, nommées *minutes*, et chacune de celles-ci de nouveau en soixante *secondes*.

Quand, par conséquent, je parle d'un angle de 90 degrés, c'est nécessairement un angle droit, puisque 90 degrés constituent le quart des 360 degrés du cercle entier. Tout angle qui n'a pas 90 degrés est un angle aigu, et tout angle qui en a davantage est un angle obtus.

Pour mesurer exactement les angles dessinés ou ceux que l'on veut dessiner, on se sert d'un appareil fort simple, construit le plus souvent en laiton, et qu'on appelle *rapporteur*.

Le rapporteur (fig. 4), est un demi-cercle découpé à jour et divisé en 180 degrés. Lorsqu'on veut s'en servir pour mesurer les angles amc , amf ,

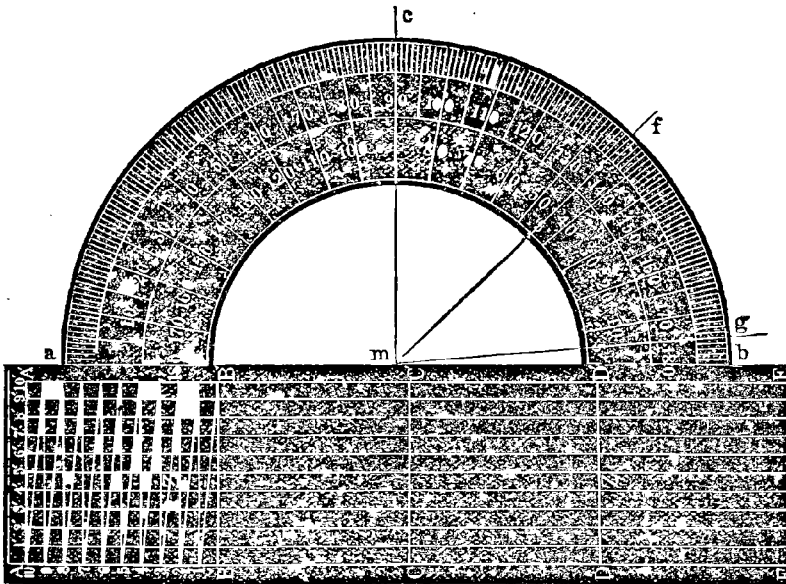


Fig. 4.

cmf et gmb , on n'a qu'à placer le rapporteur de manière à ce que son point central corresponde avec le sommet de l'angle et son diamètre avec un des côtés de l'angle : au point où l'autre côté touche le demi-cercle, se lit le nombre de degrés de cet angle. Nous trouvons de cette manière que $amc = 90$ degrés, que c'est par conséquent un angle droit ; que $amf = 135$ degrés, et est par conséquent un angle obtus ; que fmb est un angle aigu de 45 degrés et équivaut à la moitié d'un angle droit, enfin que gmb est un angle très-aigu de 5 degrés seulement.

Lorsque le diamètre du cercle et par conséquent l'étendue de la circonférence sont plus grands que sur le rapporteur représenté ici, on peut facilement encore diviser chaque degré en minutes et celles-ci en secondes, ce qui est indispensable pour des mesurages exacts. Quand on indi-

que la grandeur d'un angle, on exprime le degré par un zéro, placé au-dessus du chiffre, la minute par une virgule, la seconde par deux virgules. C'est ainsi qu'un angle = $90^{\circ} 35' 16''$, désigne un angle de 90 degrés, 35 minutes et 16 secondes.

10. Avec le rapporteur on ne peut mesurer un angle que sur le papier. Lorsqu'il s'agit de déterminer l'angle sous lequel se coupent des lignes fictives, on emploie des instruments particuliers.

Supposons, par exemple, que l'on doive déterminer l'angle que forment

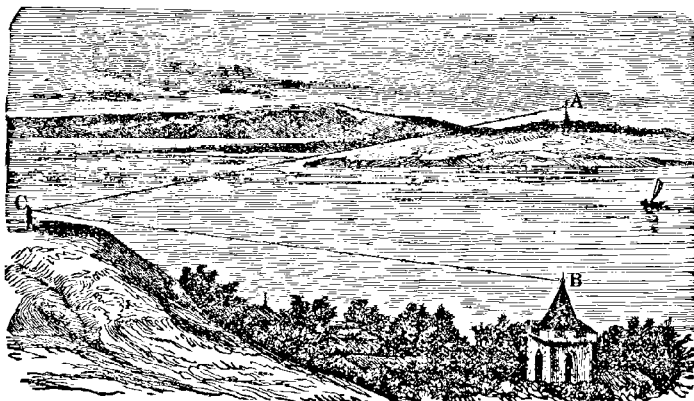


Fig. 5.

deux lignes que l'on se figure partir des clochers éloignés A et B (fig. 5), et qui doivent se couper au point C, où se trouve l'observateur. L'appareil

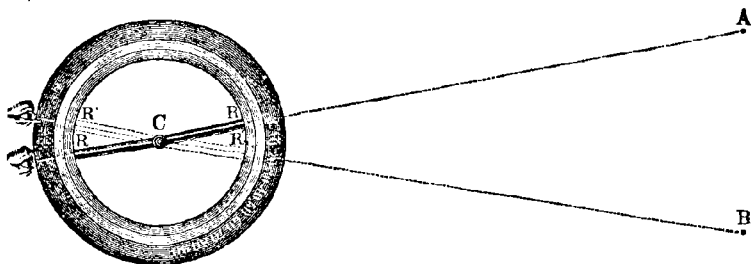


Fig. 6.

le plus simple pour cet usage est le *graphomètre* (fig. 6). Il consiste en un cercle métallique dont le bord est divisé en degrés et se nomme *limbe*.

Au centre du cercle est fixé un *pivot*, autour duquel tourne comme une aiguille une tige rr , que l'on nomme l'*alidade*. Cet instrument se place horizontalement sur un trépied et de telle manière que son centre C se trouve à l'endroit où les lignes tirées de A et de B doivent se couper. On met l'alidade sur le point du limbe désigné par zéro, et on place l'instrument de manière que le point A se trouve, pour l'œil, exactement dans le prolongement de la règle. Puis on tourne celle-ci, jusqu'à ce que le point B arrive dans son prolongement, ce qui arrive lorsqu'elle a la position $R' R'$. Alors l'extrémité de la règle aura décrit un arc mesuré sur la division du limbe et qui, dans le cas présent, est de 20° . Par conséquent l'angle en C , qui correspond à cet arc, se trouve mesurer 20° .

Tel est l'appareil fondamental qui, avec plus ou moins de modifications, sert à tous les mesurages d'angles des astronomes. On comprend que, selon que l'angle à mesurer est horizontal ou vertical par rapport à la surface de la terre, le cercle de l'instrument devra se placer horizontalement ou verticalement. C'est ainsi qu'il doit recevoir cette dernière position lorsqu'on mesure l'angle que forme, avec la surface de la terre, une ligne tirée du sommet d'une tour vers un point déterminé.

Lorsqu'on a à mesurer des angles dont la grandeur n'excède pas un angle droit ou même 60° , il peut être plus commode de se servir d'un cercle incomplet, d'un quart ou d'un sixième de cercle, instruments nommés *quadrants* ou *sextants*.

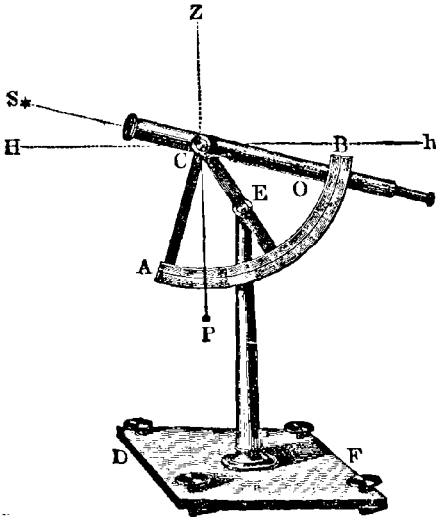


Fig. 7.

Le *quadrant* est représenté par la fig. 7. Il tourne autour du point E . AB est le limbe et C le centre du quart de cercle. Si l'on place l'instrument de manière que le télescope adapté à un de ses côtés soit dirigé vers un point de l'horizon dans la ligne Hh et que l'autre côté CA tombe dans la ligne du fil à plomb P suspendu en C , et qu'on dirige ensuite le télescope vers une étoile S , le fil à plomb, qui reste invariablement dans sa direction verticale, indiquera sur le limbe le nombre

de degrés de l'angle que forme la ligne tirée de l'étoile vers l'observateur avec l'horizon de celui-ci. Il est bon cependant de noter que dans les

observations où il s'agit d'une grande exactitude, on n'emploie que des cercles complets.

On est parvenu à donner aux instruments destinés à mesurer les angles un tel degré de précision que l'on peut déterminer un angle d'une seconde, voire même d'une demi-seconde. Mais l'angle d'une seconde est $\frac{1}{324000}$ d'un angle droit. Pour se représenter la petitesse extraordinaire d'un tel angle, on remarquera qu'il se forme à peu près un angle d'une seconde en tirant, de la face supérieure et de la face inférieure d'un cheveu humain, des lignes qui se rejoindraient à la distance d'environ un mètre.

11. Le Cercle. J'implante un clou dans le plateau d'une table, j'y fixe un fil, à l'autre extrémité duquel j'adapte un crayon. Avec celui-ci je trace autour du clou une ligne de telle manière que le fil reste toujours également tendu. J'obtiens ainsi une ligne courbe qui rentre en elle-même. La manière dont cette ligne a été formée démontre que tous les points de la ligne que nous nommons *circonférence* sont également distants du point où est fixé le clou et que nous nommons le *centre*. Le *cercle* est la partie du plan limitée par la circonférence. Une ligne droite du centre vers un point de la circonférence, et représentée, dans l'exemple cité, par le fil tendu, se nomme le *rayon*; il est évident que tous les rayons d'un cercle doivent être égaux. Lorsqu'on prolonge le rayon au centre jusqu'à ce qu'il touche de nouveau la circonférence, cette ligne représente le *diamètre* du cercle,

qui a toujours la longueur double du rayon; et naturellement tous les diamètres du même cercle sont égaux entre eux (fig. 8).

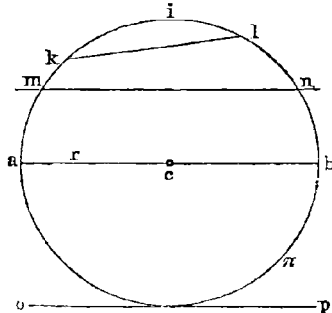


Fig. 8.

- c = centre.
- ac = rayon = r
- ab = diamètre = $2r$
- kil = arc de cercle.
- kl = corde.
- mn = sécante.
- op = tangente.
- π = circonférence = $3.14 \times 2r$

Une partie quelconque kil de la circonférence est un *arc de cercle* et la droite qui réunit les deux extrémités de l'arc est une *corde*. Une droite mn , qui coupe la circonférence en deux points, se nomme une *sécante*, et une droite située hors du cercle et ne touchant la circonférence que par un seul point s'appelle une *tangente*. La circonférence elle-même se désigne par la lettre grecque π , et on a prouvé que sa longueur était

de 3,14 fois celle du diamètre du cercle. Supposons que le diamètre soit de 2 mètres, la circonférence sera de $2 \times 3,14 = 6,28$ mètres.

12. La Sphère. Elle mérite de notre part une attention toute particulière. C'est un corps limité par une surface courbe, dont tous les points sont également éloignés d'un point situé dans l'intérieur et nommé *centre*.

Une droite tirée du centre vers un point quelconque de la surface est un *rayon*. Celui-ci prolongé jusqu'à ce qu'il touche un autre point de la surface se nomme *diamètre*. Comme dans le cercle, tous les rayons, ainsi que tous les diamètres de la sphère, sont respectivement égaux.

Supposons une sphère coupée par des plans qui passent à travers le centre; les sections circulaires qui en résultent s'appellent les *grands cercles*, et leurs diamètres sont égaux aux diamètres de la sphère.

La superficie d'une sphère s'obtient en prenant quatre fois celle d'un de ses grands cercles. Les surfaces de deux sphères sont entre elles comme les carrés de leurs diamètres.

Le volume d'une sphère se trouve en multipliant la superficie de la sphère par un tiers du rayon. Le rapport des volumes de deux sphères de grandeur inégale s'exprime par les cubes des deux diamètres.

Il me paraît convenable de démontrer par un exemple les indications que nous venons de donner sur le cercle et sur la sphère; nous prenons pour tous les deux un diamètre de 12 centimètres.

Diamètre.....	=	12 centimètres.
Rayon.....	=	6 " "
Circonférence (π).....	=	$12 \times 3,14 = 37,68$ " "
Surface du cercle... =	$r \times r \times \pi = 6 \times 6 \times 3,14 =$	113 cent. carrés.
Surface de la sphère =	$4 \times (r \times r \times \pi) = 4 \times 113 =$	452 " "
Volume de la sphère = $(\frac{1}{3} \times r) \times 4 (r \times r \times \pi) =$	$2 \times 452 =$	904 cent. cubes.

Si le diamètre d'une sphère est de 6 centimèt. et celui d'une autre de 12 centimèt., leurs surfaces sont en rapport = $6 \times 6 : 12 \times 12 = 36 : 144$; leur contenance cubique comme $6 \times 6 \times 6 : 12 \times 12 \times 12 = 216 : 1728$.

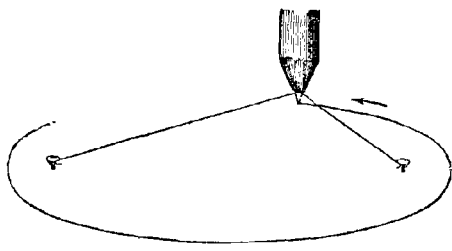


Fig. 9.

13. L'Ellipse. Beaucoup moins généralement connue que le cercle et ses propriétés, l'ellipse est également une ligne courbe rentrant en elle-même et que l'on décrit de la manière suivante. On fixe sur un plan 2 pointes (fig. 9); puis à chaque pointe on attache l'extrémité d'un fil qui doit être plus grand que la distance entre les 2 pointes. On applique

ensuite la pointe d'un crayon contre le fil et l'on promène ce crayon sur le plan, en ayant soin de tenir le fil constamment tendu : la trace que laissera le crayon sera la figure ronde allongée de l'ellipse.

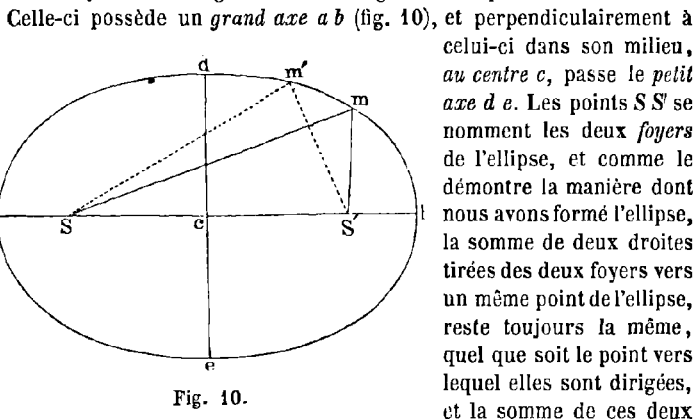


Fig. 10.

Celle-ci possède un *grand axe* $a b$ (fig. 10), et perpendiculairement à celui-ci dans son milieu, au centre c , passe le *petit axe* $d e$. Les points $S S'$ se nomment les deux *foyers* de l'ellipse, et comme le démontre la manière dont nous avons formé l'ellipse, la somme de deux droites tirées des deux foyers vers un même point de l'ellipse, reste toujours la même, quel que soit le point vers lequel elles sont dirigées, et la somme de ces deux

droites, telles que $S m$ et $S' m$ ou bien $S m'$ et $S' m'$, etc., qui représentent le fil quand le crayon le tend en m ou m' , donne exactement la longueur du grand axe. Deux de ces lignes correspondantes, dont nous pouvons nous en figurer une quantité infinie, se nomment *les rayons vecteurs*. La distance d'un des foyers S ou S' au centre C se nomme *l'excentricité* de l'ellipse. Il est évident que l'ellipse se rapproche d'autant plus du cercle que l'excentricité est moins considérable. La surface d'une ellipse se calcule en multipliant les deux demi-axes $a c$ et $d c$ entre eux et le produit par le nombre 3,14.

L'ellipse mérite de notre part une attention particulière parce que les orbites de la plupart des corps célestes, par exemple celle de notre terre, sont des ellipses.

14. Parabole. La parabole est une autre ligne courbe particulière.

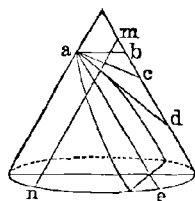


Fig. 11.

On peut la reproduire le plus facilement au moyen d'un cône avec lequel on engendre généralement toutes les différentes courbes appelées sections coniques. Si nous faisons dans un cône des sections transversales, comme, par exemple (fig. 11), $a b$, qui vont parallèlement à la base, nous n'obtenons que des cercles. Mais si les sections se font obliquement à travers les deux côtés du cône, comme $a c$ et $a d$, il se forme des ellipses. Enfin si l'on fait la section parallèlement à un des côtés, comme en $a e$ et en $m n$, la surface est

limitée par une ligne courbe toute différente, savoir, par une *parabole*, qui offre cette propriété caractéristique que ses extrémités ne se rejoignent jamais, comme dans le cercle et dans l'ellipse, mais qu'elles s'écartent de plus en plus, même si nous nous prolongeons à l'infini.

Certains corps célestes qui se meuvent autour du soleil, savoir les comètes, ont des orbites elliptiques, mais tellement excentriques, que le segment d'orbite le plus rapproché du soleil, où seul on peut les observer, diffère peu d'une ligne parabolique.

15. Mesurage. Mesurer, c'est comparer une ligne, une surface, un espace quelconques avec une mesure déterminée de même espèce. Le résultat du mesurage nous dit combien de fois cette mesure est contenue dans la grandeur à mesurer.

La première chose sur laquelle on doit donc s'entendre est précisément cette mesure; et comme malheureusement, à différentes époques et dans différents pays, on se sert de mesures différentes, nous nous voyons forcé, avant tout, de déterminer les différentes mesures que l'on emploie en astronomie ou que l'on trouve dans les différents ouvrages.

16. Tableau des mesures. Au § 7 de la *Physique*, nous avons déjà donné une comparaison des mesures plus petites, en adoptant pour unité le *mètre*, qui s'obtient en divisant le quart d'un grand cercle passant à travers les pôles de la terre (un méridien) en dix millions de parties égales.

Si, par contre, on divise le grand cercle tracé autour de la terre à égale distance des pôles, cercle que l'on nomme *équateur*, en 360 parties égales ou degrés, et qu'on prend ensuite la quinzième partie d'un de ces degrés, on obtient le *mille géographique* ou le *mille allemand*.

Chaque fois que, dans les pages suivantes, il sera question de milles ou de lieues, nous sous-entendrons le mille géographique, que nous allons du reste comparer avec quelques autres mesures :

Un mille géographique ou allemand est

= 3806.7 toises.	1 toise = 6 pieds parisiens.
= 7407 mètres.	
= 8096 yards.	1 yard = 3 pieds anglais.
= 22840 pieds parisiens.	
= 23659.6 » prussiens.	
= 29676 » de la Hesse-Grand-Ducaie.	
= 0,742 mille français.	
= 0,978 » autrichien.	
= 0,985 » prussien.	
= 1,553 » mariin.	
= 4,611 milles anglais.	
= 6,956 verstes russes.	

Autres comparaisons :

1 nouveau mille français.. =	1 myriamètre..... =	10000 mètres.
1 mille autrichien..... =	24000 pieds autrichiens =	7386 »
1 » prussien..... =	24000 » prussiens..... =	7333 »
1 » géographique..... =	$\frac{1}{15}$ degré..... =	7407 »
1 » marin..... =	$\frac{1}{30}$ » =	5586 »
1 ancienne lieue de France. =	$\frac{1}{45}$ » =	4444 »
1 lieue marine..... =	$\frac{1}{60}$ » =	1851 »
1 mille anglais..... =	1760 yards..... =	1609 »
1 verste russe..... =	3500 pieds russes..... =	1067 »
1 stade des anciens..... =	$\frac{1}{40}$ de mille géographique. =	185 »

17. Distance. Échelle de réduction. Figurons-nous dans l'espace un point déterminé; tout autre point sera *distant* de celui-là, et la ligne droite qu'on tire ou qu'on se figure d'un de ces points vers l'autre, se nomme sa plus courte distance ou simplement sa *distance*. De même que l'espace est quelque chose d'infini, de même la distance ne connaît ni nombres ni limites.

On parle de distances *mesurables* et *incommensurables*. Les premières sont celles que l'on détermine ou par le mesurage direct ou par le calcul, et selon les grandeurs on se sert de mesures différentes. C'est ainsi que les distances des corps célestes s'expriment par certaines distances connues comme l'éloignement de la terre au soleil, ou bien par des rayons terrestres; nous mesurons la surface de la terre par milles, par verges, par mètres, et des objets de petite dimension par mètres, centimètres, millimètres, ou par pieds, pouces et lignes.

Les distances ne sont *incommensurables* pour nous que lorsque nos sens ou nos instruments ne suffisent pas pour les déterminer. C'est ainsi que nous nommons incommensurablement (ou extrêmement) petite la distance qui joint les plus petites molécules ou les atomes de la matière et incommensurablement (ou immensément) grande la distance de la plupart des étoiles fixes et des nébuleuses.

Quand les distances sont tellement grandes que le sens de la vue est incapable de les percevoir, nous les concevons par l'imagination. Mais bientôt cela même ne peut plus suffire, car les distances immenses des corps célestes vont au delà de tout ce que nous pouvons imaginer. Dans ces cas l'échelle de réduction (fig. 12) est un moyen essentiel pour en faciliter la conception; en effet, elle nous permet de tracer des dessins donnant les mêmes rapports sur une surface que le regard embrasse facilement.

Cette échelle de réduction est construite d'après des lois géométriques. Les lignes *AB*, *BC*, etc., représentent des distances données, par exemple des milles; *AB* est divisé en dix parties égales, qui sont par conséquent autant de dixièmes d'un mille; il en est de même de *A'B'*. La trans-

versale Bx découpe encore sur les droites parallèles à AB de dixièmes de dixième, par conséquent des centièmes d'un mille, à savoir $\frac{1}{10}, \frac{2}{10}, \frac{3}{10}$, etc., comme on peut le voir sur le triangle $Bx B'$. Au moyen d'un compas,

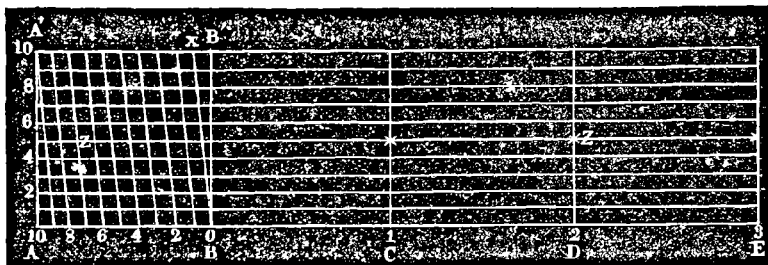


Fig. 12.

on peut donc prendre sur l'échelle toute espèce de grandeur en milles, dixièmes et centièmes de mille. Si je devais, par exemple, rapporter sur un dessin d'après cette échelle $2\frac{3}{4} = 2,75$ milles, je poserais une pointe du compas sur x , et l'autre au point d'intersection de la transversale 7 et de la parallèle 5, et l'ouverture du compas embrasserait 2 unités 7 dixièmes et 5 centièmes de mille.

18. Détermination des distances. Le mesurage réel au moyen d'une mesure ou de ce que l'on nomme la chaîne ne peut s'appliquer qu'à des distances peu considérables. Nous parlerons d'autant moins de ce procédé que, même pour les distances un peu grandes sur terre, on ne l'emploie que rarement, tandis que, pour mesurer dans l'espace céleste, son emploi est absolument impossible.

Ce que nous avons à démontrer ici, ce n'est pas comment on mesure les distances, mais comment on les calcule. Nous avons besoin pour cela de quelques notions géométriques sur la similitude des triangles et de quelques lois de trigonométrie.

Dans la fig. 13, nous voyons entre les côtés Ao et Bo de l'angle o , les lignes $ab, a^1 b^1, a^2 b^2$, etc., qui sont parallèles entre elles. Il va de soi que ces lignes sont d'autant plus grandes qu'elles sont plus éloignées de l'angle o ; et il est démontré que ab est compris exactement autant de fois en $a^1 b^1$ que oa est compris en oa^1 , ou autant de fois que ob est compris en ob^1 . Il en est de même pour toutes les autres parallèles tracées entre les

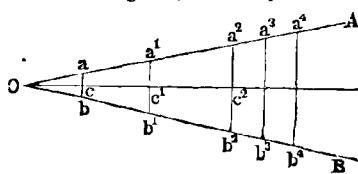


Fig. 13.

côtés oA et oB ou pour toutes celles qu'on peut s'y figurer, par rapport à ab , ou pour deux parallèles quelconques entre elles. C'est ainsi que a^4b^4 est autant de fois plus grand que a^5b^5 que oa^4 est de fois plus grand que oa^5 , etc.

Nous employons cette vérité simple pour calculer des distances verticales ou des hauteurs, aussi bien que des distances horizontales ou de longueur.

Soit $a''b''$ (fig. 14) une tour dont on doit déterminer la hauteur. Nous

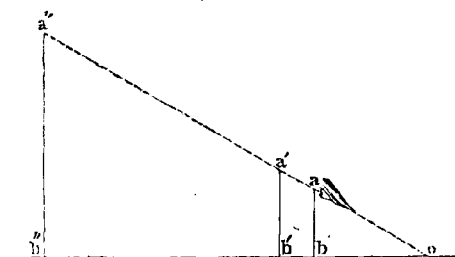


Fig. 14.

mesurons d'abord une base $b''a$, puis nous plaçons en ab une tige, au-dessus de la pointe de laquelle l'œil peut apercevoir le point le plus élevé a'' de la tour. Plaçant ensuite entre l'observateur et la tour une seconde tige $a'b'$ de telle manière que sa pointe a' arrive sur la ligne droite

de l'œil vers a'' , si nous nous représentons cette ligne $a''a'o$ tracée, nous avons un dessin qui correspond exactement à celui de la fig. 13. D'après ce que nous avons dit alors, $a''b''$ est autant de fois plus grand que $a'b'$, que $b''o$ est de fois plus grand que $b'o$. Si par exemple $a'b'$ était égal à 15 mètres et $b'o$ égal à 30 mètres, $a''b''$ doit être également la moitié de la base $b''o$. Si cette dernière mesure 120 mètres, la tour a une hauteur de 60 mètres.

Comme les longueurs des ombres projetées par des objets se rapportent comme les hauteurs des objets auxquels elles appartiennent, il en résulte un procédé fort simple pour la détermination des hauteurs. Je mesure la hauteur d'un bâton implanté verticalement en terre $a'b'$, puis je mesure son ombre ainsi que l'ombre projetée par la tour, $b''o$. Autant de fois que le bâton est plus grand ou plus petit que son ombre, autant de fois la hauteur de la tour est plus grande ou plus petite que la longueur de son ombre.

Le même procédé, quelque peu modifié, s'applique pour calculer la distance entre deux points que nous ne pouvons mesurer directement, par exemple, la distance de deux sommets de montagne ou de deux points $a'b'$ (fig. 15), entre lesquels se trouve une forêt ou une pièce d'eau. Dans ce cas il suffit de connaître la distance ob' pour déterminer aussi bien $a'b'$ que ao . Au moyen de deux bâtons que l'on implante en a et b , sur les lignes droites partant de a' et de b' à l'œil de l'observateur o , et

dont la ligne de jonction ab est parallèle avec $a'b'$, on obtient le triangle

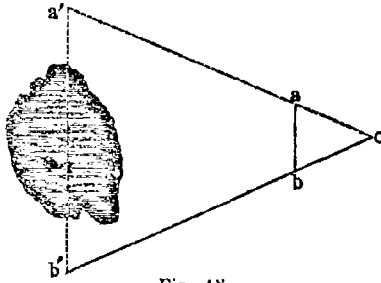


Fig. 15.

mesurable abo . Autant de fois $o'b'$ est plus grand que ob , autant de fois $a'b'$ est plus grand que ab .

19. Mesurage trigonométrique. Assez souvent on trouve sur des points élevés, notamment sur le sommet de montagnes isolées, des pyramides plus ou moins hautes de bois ou de pierre, et une inscription nous dit qu'il y a là un *point trigonométrique*. On

sait bien généralement que ces points servent au mesurage du territoire du pays, celui-ci étant, par ces points, divisé en un certain nombre de triangles étendus sur le pays comme un réseau. Ces triangles se mesurent, et leur somme indique la surface d'un pays.

Il est plus difficile par contre, sans entrer dans des détails mathématiques, de donner une explication plus exacte et de dévoiler quelque peu le mystère que renferme ordinairement, pour les personnes non initiées, un tel point trigonométrique établi sur le sommet d'une montagne. Essayons au moins d'en faciliter un peu l'intelligence.

L'angle A (fig. 16) est renfermé entre les côtés AB et AO . De l'extrémité B du côté AB on abaisse une perpendiculaire BO sur le côté AO . AB est censé d'une grandeur invariable; nous nommons en conséquence cette ligne la *constante* et nous admettons qu'elle peut tourner autour du point A . Si nous relevons maintenant la constante AB , jusqu'à ce qu'elle occupe, par exemple, la position AB' , nous voyons que l'angle en A aussi

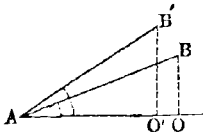


Fig. 16.

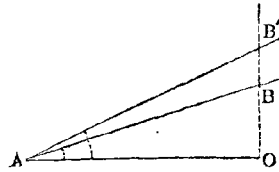


Fig. 17.

bien que la perpendiculaire abaissée de l'extrémité de la constante devient plus grands. L'angle $B'A'O$ est évidemment plus grand que BAO , et de même $B'O$ est plus grand que BO . On nomme la ligne qui s'accroît dans cette circonstance le *sinus* de l'angle donné A .

Figurons-nous maintenant au même angle A (fig. 17) le côté AO in-

riable et élevons à son extrémité O une perpendiculaire OB jusqu'à ce qu'elle coupe l'autre côté AB . Lorsque l'angle A s'accroît, cette perpendiculaire, que nous nommons *la tangente* de l'angle A , doit également s'accroître.

Comme on le voit, sinus et tangente sont deux lignes qui sont en rapport avec un angle donné et qui croissent avec l'angle. On s'assure facilement que, pour une augmentation égale de l'angle, la tangente grandit plus fortement que le sinus, et on a trouvé une loi d'après laquelle on a calculé ce qu'on nomme *les tables trigonométriques*, qui indiquent pour chaque angle donné le rapport entre sa tangente ou son sinus et sa constante. Si nous recherchons par exemple dans les tables le sinus de l'angle de 30 degrés, nous trouverons le chiffre 0,5; c'est-à-dire que pour cet angle le sinus est la moitié de la constante.

De ce qui précède résulte cette application pratique importante, qu'étant connues les grandeurs d'un angle et d'un de ses côtés, on peut, au moyen des tables trigonométriques, trouver le sinus ou la tangente. Nous allons rendre la chose plus intelligible par un exemple.

Supposons que OB (fig. 18) soit la hauteur d'une tour à déterminer.

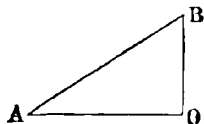


Fig. 18.

Un mesurage préalable nous a fourni la grandeur de la base $AO = 450$ mètres, ainsi que l'angle $A = 35^\circ$. Considérons OB comme la tangente de l'angle A ; elle est d'après les tables 0,7, c'est-à-dire que la tangente OB est les $\frac{7}{10}$ de la constante AO . Or, $\frac{7}{10}$ de $450 = 43$; par conséquent $OB = 7 \times 43 = 301$ mètres; qui seront la hauteur de la tour.

20. Distance et grandeur des corps célestes. Pour des mesurages exacts de distances soit verticales, soit horizontales, sur la surface de la terre, on n'emploie jamais les procédés indiqués au § 18; on a recours aux calculs trigonométriques. Pour les corps célestes, ces derniers sont les seuls moyens possibles de parvenir au but. Comme, dans ce cas, on prend pour ligne de base le rayon de la terre, il faut déterminer d'abord la grandeur de celui-ci, ce que l'on fait de la manière suivante: Représentons-nous la terre par le cercle (fig. 19) et concevons en a et a' deux observateurs éloignés l'un de l'autre de l'arc $a a'$, dont on a exactement mesuré la longueur, qui serait, par exemple, de 30 milles géographiques. Chacun d'eux observe en même temps une étoile fixe placée verticalement au-dessus de sa tête, l'un l'étoile s , l'autre l'étoile s' , de sorte que les lignes tirées de ces étoiles et prolongées jusqu'au centre de la terre devraient se joindre et former l'angle c . Nous ne pouvons mesurer cet angle, puisque le centre de la terre nous est inaccessible. Mais la distance des étoiles fixes à la terre est si immensément grande, qu'il

n'y a pas de différence sensible si un observateur mesure, du centre de la terre ou du point a situé sur la surface, l'angle que forment les lignes tirées des deux étoiles vers son œil. Pour nous servir d'une comparaison, l'erreur ne sera pas plus grande que si une mite était placée au centre ou à la circonférence d'un grain de millet pour regarder vers deux sommets de montagnes très-éloignées. Nous pouvons donc, sans commettre de faute, compter l'angle c comme égal à $s a s'$ et nous mesurons ce dernier. Si nous le trouvons $= 2^\circ$, nous savons, par le mesurage précité, que l'arc $a a'$ de 30 milles correspond à un angle de 2° , que par conséquent 1° mesure 15 milles, ce qui fait pour toute la circonférence de la terre, qui a 360 degrés, une longueur de $360 \times 15 = 5400$ milles ou 4000000 de mètres. D'après le § 11, la circonférence d'un cercle

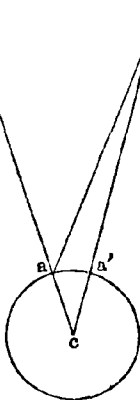


Fig. 19.

est 3,14 fois plus grande que son diamètre, par conséquent le diamètre de la terre est $= \frac{5400}{3,14} = 1719$ milles $= 12752400$ mètres. \dagger

21. Quand deux personnes, A et C (fig. 20), regardent de différentes positions vers le même point M, leurs lignes visuelles doivent nécessairement

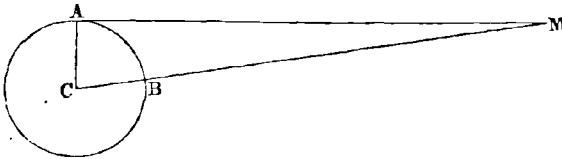


Fig. 20.

se couper au point M et former un angle qu'on nomme l'angle *parallactique*. S'il y avait en M un œil, cet angle serait l'angle visuel sous lequel lui apparaîtrait la ligne AC, où se trouvent les deux observateurs. L'angle en M exprime donc la grandeur apparente de AC, si on l'envisage de M, et on la nomme la *parallaxe* de M.

Supposons que M soit la lune, C le centre de la terre représentée par le cercle, AC est la parallaxe de la lune, c'est-à-dire la grandeur apparente qu'aurait le rayon terrestre vu de la lune. Si maintenant la lune est observée en même temps par A, dans l'horizon duquel M se trouve, et par B, au-dessus de la tête duquel il se trouve et dont la ligne visuelle prolonge

gée passe par le centre de la terre, nous obtenons, en nous figurant les points $A C M$ réunis par des lignes, le triangle $A C M$.

Puisque $A M$, comme tangente du cercle (§11), est perpendiculaire sur le rayon $A C$, l'angle en A est un angle droit et la grandeur de l'angle en C est connue par l'arc $A B$, qui est la distance entre les deux observateurs. Du moment que la grandeur de deux angles d'un triangle est connue, celle du troisième l'est également, puisque nous savons que tous trois sont toujours = 2 angles droits = 180° . De cette manière on trouve que l'angle en M , que l'on nomme habituellement la parallaxe de la lune, mesure $56' 58''$. Nous connaissons dans le rectangle $M A C$ la grandeur de l'angle M = $56' 58''$, ainsi que celle du rayon terrestre = 860 milles, et cela suffit pour trouver par un calcul trigonométrique la grandeur du côté $M C$, c'est-à-dire la distance de la lune à la terre. Car $A C$ est le sinus de l'angle M , et d'après les tables, le sinus d'un angle de $56' 58'' = \frac{1652}{100000}$. En d'autres termes, d'après le § 19, si nous divisons la constante $M C$, c'est-à-dire la distance de la lune, en 100000 parties égales, le sinus $A C$ ou le rayon terrestre égale 1652 de ces parties. Mais 1652 sont contenus 60 fois en 100000, par conséquent la distance de la lune est égale à 60 rayons terrestres ou $60 \times 860 = 51600$ milles géographiques = 38262 myriamètres.

De la même manière on a obtenu la parallaxe du soleil = $8''$,6, et on a trouvé la distance du soleil = 20 millions de milles ou 15270000 myriamètres.

22. Mais du moment qu'on connaît la distance du soleil et de la lune ainsi que leur grandeur apparente, on peut facilement en calculer la grandeur réelle. Car figurons-nous que $A C$ (fig. 20) soit le rayon de la lune, et $A M$ sa distance de la terre, en prenant $A M$ pour constante, $A C$ sera la tangente trigonométrique de l'angle M . Par des observations on a trouvé le diamètre apparent de la lune ou l'angle visuel sous lequel elle se montre à l'observateur = $31' 16''$. La grandeur apparente du rayon de la lune est par conséquent de $15' 58''$. La tangente trigonométrique d'un angle de $15' 58''$ est à la constante = $454 : 100000$. Comme la constante $A M = 51,600$ milles, on obtient $A C = \frac{454 \times 51600}{100000} = 234$ milles, et le diamètre réel de la lune, qui est deux fois $A C$, est de 468 milles (347,6 myriamètres). De la même manière on obtient, au moyen du diamètre apparent du soleil = $32' 08''/100''$ et de sa distance, son diamètre réel, qui est de 192608 milles géographiques (142350 myriamètres environ).

II. Phénomènes astronomiques généraux.

A. LA TERRE.

23. Forme. Un avantage considérable pour l'étude des phénomènes astronomiques, c'est que, dès notre plus tendre enfance, nous nous sommes familiarisés avec l'idée de considérer la terre et les astres comme des corps sphéroïdes planant librement dans l'espace. De cette manière nous avons pu jusqu'ici envisager ce fait comme une chose connue, nous réservant d'en fournir ultérieurement la preuve.

La forme sphérique de la terre ressort d'une manière incontestable des faits suivants :

A quelque point de la terre que nous nous placions, notre regard n'embrasse qu'une portion relativement très-petite de sa surface ; celle-ci serait beaucoup plus considérable si la terre était une surface plane.

Lorsque nous suivons des yeux un vaisseau qui s'éloigne sur une mer calme, la première chose que nous voyions disparaître est la partie inférieure ; le mât et le pavillon disparaissent ensuite insensiblement (fig. 21). La même chose arrive lorsque, du sommet d'une colline arrondie,

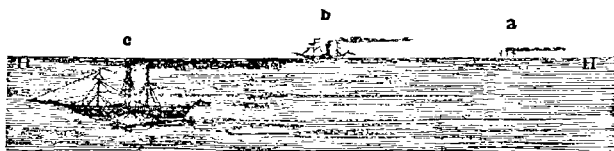


Fig. 21.

notre regard suit une personne qui la descend ; la première chose qui disparaisse à nos yeux, ce sont les pieds, la dernière, le chapeau ; tandis que c'est celui-ci qui se montre le premier lorsque la personne arrive en sens inverse.

Après cela, une foule de voyages entrepris dans toutes les directions, par terre et par mer, ont démontré d'une manière directe qu'on peut faire le tour complet de ce globe ; qu'en partant d'un point quelconque de la surface de la terre et en maintenant toujours la même direction on revient au point de départ. Il existe naturellement de nombreux obstacles qui empêchent d'exécuter le tour du monde dans toutes les directions.

Nous concluons enfin à la forme sphérique de la terre par la figure ronde de l'ombre qu'elle projette sur la lune lors des éclipses de celle-ci, et de ce que, dans beaucoup d'autres corps célestes, la forme sphérique a été mise hors de doute par l'observation.

Malgré la forme sphérique de la terre, sa superficie nous apparaît comme plane; cela dépend uniquement de sa grandeur considérable. Même sur le sommet d'une montagne de 10000 pieds de hauteur, l'œil ne peut voir que $\frac{1}{4000}$ de toute la surface de la terre, et cette petite partie lui apparaît comme une surface plane. Pour l'aplatissement de la terre, voir *Physique* § 65.

24. Étendue de la terre. Nous avons déjà dit, au § 21, comment il était possible de mesurer exactement un corps d'une étendue aussi grande que la terre; c'est ainsi que l'on a trouvé les chiffres suivants pour les dimensions de notre globe :

Diamètre de la terre ==	1 719 milles géograph. ou	1 275 myriamètres.
Circonférence..... =	5 400 milles géograph. ou	4 000 myriamètres.
Surface..... =	9 282 060 milles carrés ou	5 092 960 myriamèt. carrés.
Volume..... =	2 639 310 190 milles cubes ou	1 080 726 100 myriamèt. cubes.

Ces chiffres montrent clairement que les proéminences sur la surface de la terre, savoir les montagnes, n'ont aucune influence sur la forme de la terre. En effet, si nous nous représentons la terre par une sphère ayant 40 centimètres de diamètre, nos plus hautes montagnes ressemblent à des grains de sable de $\frac{1}{4}$ de millim. de hauteur, qui adhèreraient à la surface de la sphère.

25. Division de la terre. Une boule qui roule dans un jeu de quilles exécute, indépendamment de son mouvement vers le but, un second et autre mouvement encore. Nous voyons que les grains de sable qui adhèrent à sa surface forment, selon la place où ils se trouvent, des cercles plus grands ou plus petits autour de deux points opposés à la sphère. La ligne que nous nous figurons passer par le centre de la sphère et ces deux points se nomme l'axe de rotation ou tout simplement l'axe de la sphère.

Il est démontré que la terre (fig. 22) tourne également autour d'un axe *NS*, dont les extrémités se nomment les *pôles*. L'un de ces pôles, *N*, se nomme *pôle Nord*, ou *boréal*, ou *arctique*; l'autre, *S*, *pôle Sud*, ou *austral*, ou *antarctique*, et le grand cercle tiré autour de la terre et situé à égale distance des deux pôles, *AQ*, se nomme *équateur*, parce qu'il divise la surface de la terre en deux parties égales, l'hémisphère nord et l'hémisphère sud. L'équateur est divisé en 360 parties égales ou degrés dont

chacun mesure, comme nous l'avons dit au § 21, 15 milles géographiques ou 111111 mètres.

De chacun de ces points de division de l'équateur nous nous figurons un cercle passant par les deux pôles, de telle sorte que le globe terrestre se trouve entouré de 180 cercles, dont la figure ne marque que quelques-uns, situés de 30 en 30 degrés de distance. Ces cercles, passant perpendiculairement par l'équateur et les deux pôles, se nomment les *méridiens* et ont tous une même étendue. Leur distance mutuelle est à l'équateur de 15 milles géographiques ou 11,1 myriamètres, mais elle diminue de plus en plus vers les pôles, puisqu'ils convergent vers ce point.

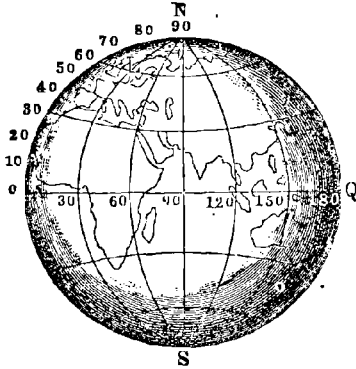


Fig 22.

Pour compter les méridiens, il s'agit de prendre pour point de départ un point déterminé, par exemple A (fig. 22). Pour la terre en général, on fait passer le *premier méridien* par l'île de *Fer*, située dans l'océan Atlantique, à la côte occidentale de l'Afrique, et on compte les méridiens à partir de là. Mais dans les différents pays on a pris d'autres méridiens pour point de départ. Ainsi, en Angleterre, on a adopté pour premier méridien celui qui passe par l'observatoire de *Greenwich*, près de Londres; en France, celui qui passe par l'observatoire de *Paris*; en Amérique, celui qui passe par l'observatoire de *Washington*. *Greenwich* est situé à 17° 40', *Paris* à 20° à l'est et *Washington* à 59° 23' à l'ouest de l'île de *Fer*.

La distance entre un méridien quelconque et le premier se nomme la *longitude*, et nous nous servons de cette longitude pour désigner la situation d'un endroit sur la surface de la terre. Soit, par exemple *L* (fig. 22), une ville, sa longitude sera 30 degrés, car elle est sous un méridien distant de 30 degrés du premier méridien. C'est ainsi que la longitude du mont *Hécla*, en Islande, est de 1°, celle d'*Oporto* 9°, de *Paris* 20°, de *Vienne* 34°, de *Bagdad* 63°, de *Calcutta* 94°, de *Canton* 131°, et ainsi de suite; de cette manière nous revenons à notre point de départ en faisant le tour du globe. A 180° de longitude, on a parcouru la moitié de la sphère terrestre et on a atteint la plus grande distance possible du premier méridien; car on se trouve précisément à la face opposée de la terre, et à partir de ce point les degrés de longitude se rapprochent du point de départ.

26. Cependant il est aisé de voir que l'indication de la longitude ne détermine pas encore suffisamment la situation d'un endroit ; car lorsque je dis que la longitude d'un endroit est 30° , il peut se trouver sur un point quelconque de tout le demi-cercle *N L S* (fig. 22). Il faut donc nécessairement que ce point soit plus complètement désigné ; dans ce but, on divise le premier méridien de chaque côté de l'équateur en 90 parties égales, que l'on nomme *degrés de latitude*, et de là on tire parallèlement à l'équateur des *cercles* dits *parallèles*, qui deviennent naturellement de plus en plus petits à mesure qu'ils se rapprochent des pôles.

Je comprends donc sous le nom de *latitude* d'un endroit son éloignement de l'équateur vers un des pôles, et on distingue une *latitude boréale* et une *latitude australe*, selon que l'endroit est situé dans l'hémisphère nord ou sud.

C'est ainsi que le point *L* (fig. 22) a 50° de longitude et 60° de latitude boréale ; il se trouve par conséquent dans le midi de la Suède.

Mais pour déterminer encore beaucoup plus exactement la situation d'un endroit, on indique même les subdivisions des degrés de longitude et de latitude en minutes et en secondes ; car, ainsi que nous l'avons indiqué dans l'introduction, on divise le degré en 60 minutes et la minute en 60 secondes.

Cette division de la surface terrestre devient très-facile à comprendre lorsqu'on trace sur une sphère les lignes principales que nous avons indiquées, en y marquant les contours des différentes parties du monde ainsi que la situation de quelques endroits les plus connus. Tel est l'appareil (fig. 25) que l'on désigne sous le nom de *globe terrestre*. Il repose, au moyen de deux pointes fixées aux pôles,

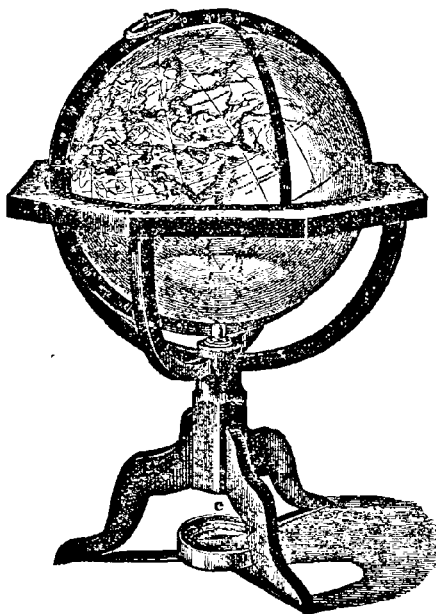


Fig. 25.

les, dans un anneau de laiton que l'on nomme *méridien*, et qui est assez éloigné de la sphère, pour que celle-ci puisse tourner librement sur son

axe à l'intérieur de l'anneau. On peut de cette manière très-bien représenter tous les phénomènes qui se rapportent à la rotation de la terre sur son axe. Le méridien repose dans deux entailles pratiquées vis-à-vis l'une de l'autre au support horizontal et dans une troisième entaille pratiquée au pied du support. Cette disposition permet de donner au globe une situation en rapport avec la place où se trouve l'observateur, absolument comme, d'après le § 43, on devra le faire pour le globe céleste. Alors la surface horizontale HH' du support représente l'horizon de l'observateur.

Le méridien à partir de l'équateur est divisé en 90 degrés. Veut-on déterminer la latitude d'un endroit, on tourne le globe de façon à amener l'endroit sous le méridien en métal et on lit sur celui-ci la latitude.

D'autres applications du globe terrestre résulteront de la description du globe céleste §§ 43 et 44.

Comme exemples nous indiquons dans le tableau suivant la longitude et la latitude de quelques endroits :

LIEUX.	LONGITUDE calculée de l'île de Fer.	LATITUDE.	LIEUX.	LONGITUDE calculée de l'île de Fer.	LATITUDE.
Athènes	41° 32'	38° 5' N	Londres	17° 55'	51° 51' N.
Augsbourg	28 51	48 22 »	Mannheim	26 7	49 29 »
Berlin	31 3	52 51 »	Mayence	25 56	50 0 »
Cologne	24 53	50 56 »	Munich	29 14	48 8 »
Constantinople.	46 36	41 1 »	Paris	20 0	48 30 »
Darmstadt	25 19	49 52 »	Pétersbourg	47 59	59 56 »
Francfort-s/M.	26 21	50 7 »	Prague	52 5	50 5 »
Göttingen	27 36	51 52 »	Rome	30 9	41 54 »
Hambourg	27 58	53 53 »	Riga	41 47	56 37 »
Insprück	29 3	47 16 »	Stralsund	30 46	54 19 »
Kœnigsberg	38 10	54 43 »	Vienne	34 2	48 12 »
Leipzig	50 1	51 20 »	Bruxelles	22 2	50 50 »

L'Allemagne est située entre les 44° 46' et 55° 53' de latitude boréale et entre les 5° 26' et 20° 53' de longitude Est, rapportée au méridien de Paris (= 25° 26' et 40° 53' par rapport au méridien de l'île de Fer).

La Belgique est placée entre 49° 27' et 51° 30' de latitude boréale et entre 0° 14' et 3° 44' de longitude orientale, rapportée au méridien de Paris (= 20° 14' et 23° 44' calculé du méridien de l'île de Fer).

B. DIVISION DU CIEL.

27. Pour plonger le regard dans l'espace universel, l'homme part nécessairement de la terre. Sans posséder de grandes notions d'astro-

nomie, nous pouvons supposer que beaucoup de choses se présenteraient d'une manière toute différente, si l'observateur se trouvait dans la lune, dans le soleil ou dans un des astres éloignés. Nous devons donc diviser l'espace qui nous entoure par rapport à notre terre et à nous-mêmes ; nous devons y désigner certains points, certaines lignes, certaines régions ; sans cela il serait impossible de décrire d'une manière précise les phénomènes qui s'y passent.

Vu la forme sphérique de la terre, il ne s'y trouve ni côté supérieur ni côté inférieur, et chaque observateur considère toujours la place où il se trouve comme la plus élevée.

Supposons que nous nous trouvions au point o du globe terrestre (fig. 24)

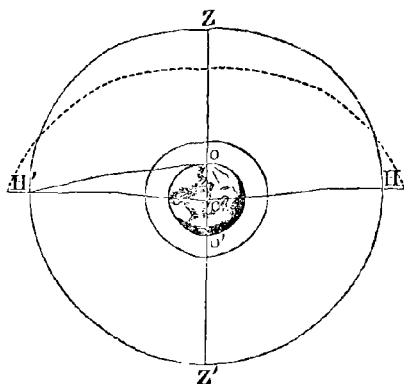


Fig. 24.

il est certain que l'habitant du point du globe diamétralement opposé paraît se trouver sous nos pieds. Mais cet habitant du point o' a le même droit de se croire au-dessus de nous.

Supposons la verticale qui passe par le corps de l'observateur prolongée indéfiniment, elle passera d'un côté par le centre de la terre et d'un autre côté par le point Z situé juste au-dessus de la tête de l'observateur. Ce dernier point se nomme le *zénith*

de celui-ci, tandis que le point de l'espace diamétralement opposé Z' se nomme le *nadir* du même observateur.

Lorsqu'un astre, le soleil, par exemple, se trouve à la place de Z , on dit qu'il se trouve dans le zénith de l'observateur o . Naturellement celui-ci ne peut pas voir un astre, qui se trouve au même instant dans son nadir Z' .

28. Quand nous examinons du point o un ciel pur étoilé, toutes les étoiles qui brillent nous paraissent se trouver à égale distance de nous. Nous croirions réellement nous trouver au milieu d'un dôme immense, à la voûte interne duquel ces étoiles seraient fixées. Cette voûte céleste apparente, qui entoure toute la terre, est représentée par le cercle $Z H' Z' H Z$; seulement il faut se figurer la distance entre o et Z infiniment plus grande. Il est bon d'observer encore que, par suite d'une illusion optique, la voûte céleste ne nous paraît pas tout à fait demi-sphérique, mais un peu aplatie, comme l'indique à peu près la ligne ponctuée.

29. Horizon apparent ou sensible et horizon rationnel. Lorsque l'observateur, au lieu de diriger ses regards en haut, les promène autour de lui sur la surface de la terre, celle-ci lui apparaît comme un cercle au centre duquel il se trouve. Cela est surtout apparent en pleine mer, quand celle-ci est calme, ainsi que sur de grandes élévations, sur des sommets de montagnes. Ce cercle sur lequel notre vue s'étend et que l'on nomme l'*horizon sensible, terrestre ou matériel*, semble limité par la voûte du ciel, comme si celle-ci reposait et s'appuyait sur lui. Nous avons déjà dit que, même sur une montagne de 10000 pieds d'élévation, le regard ne pouvait s'étendre que sur $\frac{1}{1000}$ de la surface de la terre, et à la hauteur de 25000 pieds, élévation la plus grande que l'homme ait pu



Fig. 25.

gravir, le rayon de l'horizon ne dépasse pas 45 milles géographiques ou 52 myriamètres environ.

Du sommet d'une montagne (fig. 25) au pied de la tour, le point P, situé à une assez grande distance, se voit tout aussi bien que du haut de la tour. L'élévation de celle-ci est trop peu considérable pour avoir de l'influence sur des objets très-éloignés; elle ne sert pas à élargir l'horizon. Par contre, cette élévation a de l'influence sur des objets rapprochés, preuve : le point P pourra se voir du sommet de la tour, mais non pas du pied de celle-ci.

Il en est de même en grand de la terre par rapport aux astres éloignés d'elle à une distance extraordinairement grande. Le rayon de la terre o c

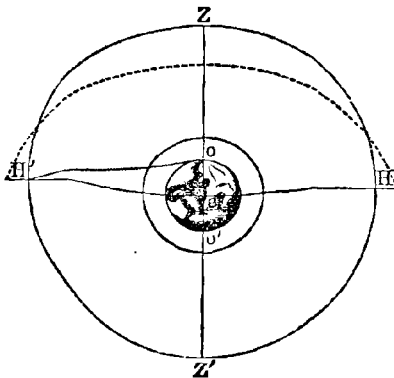


Fig. 26.

(fig. 26), comparé à cette distance, est une grandeur tout à fait insignifiante, et il est certain qu'un observateur que nous placerions fictivement au centre de la terre, c, ne pourrait pas embrasser par la vue une plus grande étendue du ciel que celui qui se trouve à la surface en o. En effet, une étoile située en H' pourra être vue aussi bien de o que de c; c'est pourquoi on désigne sous le nom d'*horizon rationnel* le plan horizontal passant

par le centre de la terre H' C H et coupé perpendiculairement par la ligne

qui traverse le zénith et le nadir de l'observateur o . En astronomie, l'horizon représente toujours un tel plan, et, comme on le voit, ce plan partage toujours l'espace céleste en deux moitiés, dont l'une est au-dessus, l'autre au-dessous de l'horizon. Il est évident qu'un objet situé en dessous de l'horizon ne peut pas être visible à l'œil.

30. Mouvement apparent des corps célestes. Quand nous sommes transportés avec une certaine vitesse, par exemple dans une voiture, les objets situés au bord de la route, tels que les arbres, les haies, etc., nous semblent se mouvoir dans un sens opposé ; ils paraissent venir à notre rencontre et passer à côté de nous. Ce mouvement apparent est tellement connu, qu'un enfant même ne s'y trompe guère.

Cependant, nous subissons journellement la même illusion par suite de la rotation de la terre sur son axe. Il nous semble que nous restons parfaitement tranquilles et immobiles dans le creux du globe céleste, mais que lui, au contraire, avec ses astres tourne autour de nous. Telle a été, en effet, pendant des milliers d'années, la conviction des habitants de la terre, et il a fallu bien des efforts pour les convaincre de l'état réel des choses.

Toutefois, nous considérerons pour le moment les phénomènes célestes comme si réellement la terre en était le centre immobile. Par conséquent, lorsque nous parlerons du coucher, du lever, etc., des étoiles, tous ces mouvements devront être considérés comme des mouvements apparents seulement. Dans le langage ordinaire, on a du reste conservé toutes les expressions des mouvements apparents, et une grande partie de l'astronomie n'est autre chose, que la traduction, pour ainsi dire, des événements célestes apparents en faits réels.

31. L'observation attentive du ciel étoilé peut en une seule nuit nous convaincre que toutes les étoiles visibles décrivent des cercles, qui sont d'autant plus petits que les étoiles sont plus rapprochées d'un certain point dans le ciel, P (fig. 27). Tout près de ce point se trouve une étoile assez claire, qui n'a pour ainsi dire pas de mouvement et paraît rester toujours à la même place ; c'est l'étoile polaire. Comme cette étoile a une immense importance pour toute l'astronomie, nous allons tâcher d'en faciliter la découverte dans le ciel au moyen de la fig. 28. Nous remarquons ici la constellation de la *grande Ourse*, composée de sept étoiles brillantes, et assez facile à découvrir dans toutes les saisons sur le ciel du Nord. Que l'on se figure la ligne qui relie les étoiles α' et β , prolongée à une distance comprenant environ cinq fois et demi celle entre α' et β , on trouve l'étoile polaire cherchée. Une ligne tirée de celle-ci à travers le centre de la terre, $P P'$ (fig. 27), représente l'axe céleste, autour duquel toutes les étoiles font leur mouvement apparent. La partie $p p'$ de l'axe

céleste qui traverse la terre est l'*axe terrestre*, dont le pôle Nord p est du côté de l'étoile polaire et le pôle Sud p' du côté diamétralement opposé.

Nous avons donc, à l'aide des étoiles, déterminé la position de l'axe de la

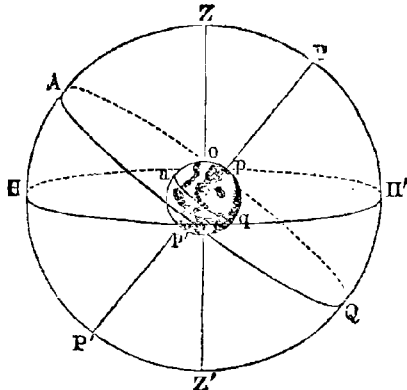


Fig. 27.

terrestre nous ne pouvons pas dessiner cette ligne sur le ciel, mais nous pouvons nous la figurer et remarquer les étoiles par lesquelles cet équateur passe. Dans

les calculs astronomiques, on entend toujours par équateur l'équateur céleste.

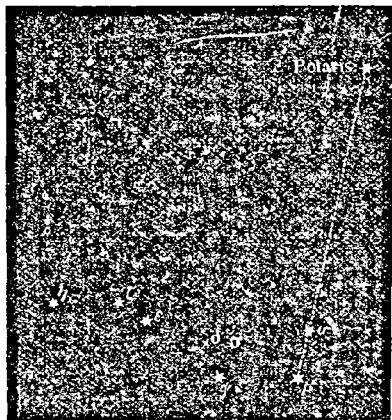


Fig. 28.

Nous pouvons donner à un observateur sur la surface de la terre, par rapport à l'axe terrestre, différentes positions qui influenceront considérablement sur la manière dont les phénomènes du ciel se présenteront à lui. Tantôt il peut se trouver à l'un des deux pôles, par exemple en p , tantôt sur un point de l'équateur en a , tantôt à un point quelconque entre le pôle et l'équateur, par exemple en o .

Ce dernier cas est le plus fréquent ; tous les Européens notamment s'y trouvent : c'est pourquoi nous décrivons d'abord les phénomènes tels qu'ils se présentent à un observateur placé en o (fig. 26). Ce

point est distant du pôle Nord d'environ 40° et correspond à peu près aux environs de Francfort, de l'Allemagne centrale et de la Belgique.

32. Phénomènes pendant le jour. Du point où nous sommes placés, à peu près perpendiculairement sous Z (fig. 29), jetons, le 21 mars au matin, un peu avant 6 heures, le regard vers l'endroit le plus clair de l'horizon : nous verrons, en un point O , le soleil s'élever au-dessus de l'horizon, autrement dit *se lever*. Nous nommons le point où cela a lieu le *Matin* ou l'*Est* ; le point diamétralement opposé de l'horizon, éloigné de l'*Est* de 180° , se nomme le *Soir* ou l'*Ouest*. Si, tournant le dos à l'*Est* (O), nous nous plaçons en face de l'*Ouest* (W), le point H , distant de 90° à gauche de l'*Ouest*, est désigné sous le nom de *Midi* ou de *Sud* ; le point opposé, H' , situé à une distance de 90° à droite de l'*Ouest*, se nomme le *Nord* ou *Septentrion*.

Ces quatre points de l'horizon se nomment les quatre *points cardinaux*, et les lignes qui unissent les points diamétralement opposés se coupent au centre de la terre à angles droits. La ligne qui réunit le *Nord* au *Sud* se nomme la *ligne méridienne*.

33. La rotation de la terre se fait dans la direction de l'*Ouest* à l'*Est*. En conséquence de cela, nous voyons le soleil, après s'être levé en O , s'élever

de plus en plus dans la direction de la flèche, en formant un arc que l'horizon coupe à angle aigu $A O H$ (fig. 29) et que l'on nomme pour cette raison un *arc oblique*.

De cette manière, le soleil atteint finalement en A le point le plus élevé, nommé le *point culminant*, et l'heure où cela a lieu se nomme *Midi*. A partir de ce moment, nous voyons le soleil redescendre vers l'horizon dans la direction de la seconde flèche, et disparaître ou *se coucher* dans le

point de l'*Ouest* W . Tant que le soleil se trouve au-dessus de l'horizon, sa lumière brillante éclaire la surface de la terre et la partie de l'atmosphère située au-dessus de l'observateur, de sorte que tous les autres astres du ciel sont noyés dans la lumière et par conséquent invisibles. Tout le monde sait que cet espace de temps se nomme *jour* et que l'arc $O A W$, que le soleil parcourt endéans cet espace, se nomme l'*arc diurne*.

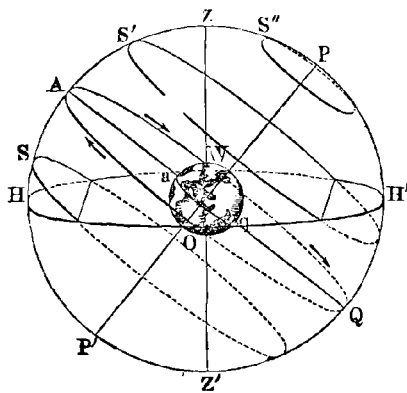


Fig. 29.

Mais dès que le soleil est couché, le jour brillant est à sa fin. Vient le crépuscule, bientôt suivi de la nuit, qui enveloppe la terre de ténèbres, tandis qu'à la voûte céleste apparaissent les étoiles, auxquelles s'associe souvent la lune, et la clarté de ces astres vient diminuer d'une façon notable l'obscurité nocturne. L'arc ou la portion de cercle $W Q O$, que le soleil parcourt sous l'horizon, se nomme l'*arc nocturne*. En Q le soleil a atteint son point le plus bas ou son *point culminant inférieur*.

Le temps nécessaire au soleil pour opérer de cette manière le mouvement apparent de O vers $A W Q$ et de retour vers O se nomme un *jour solaire*, ou tout simplement un *jour*, et a été divisé en 24 heures.

On voit de suite que le chemin $O A W Q O$, que parcourt le soleil le 21 mars, est la même ligne que nous avons désignée, au § 32, sous le nom d'équateur céleste : ce jour-là par conséquent le soleil traverse l'équateur. On s'aperçoit que l'arc diurne $O A W$ est égal à l'arc nocturne $W Q O$, que par conséquent le jour et la nuit ont une durée égale de 12 heures. L'époque où cela a lieu se nomme l'*équinoxe de printemps*.

Pourtant on sait que la durée du jour et de la nuit change considérablement dans le cours de l'année. Il est donc impossible que le soleil reste toute l'année dans l'équateur. Aussi n'en est-il réellement pas ainsi, car si l'on observe le soleil quelques semaines plus tard, on voit qu'il s'élève beaucoup plus haut sur l'horizon HH' , et qu'il se rapproche du pôle P , et cette élévation du soleil vers le pôle augmente de jour en jour jusqu'au 21 juin à midi, où il atteint son point le plus élevé en S' . Son élévation sur l'équateur est alors de $23^{\circ} \frac{1}{2}$. Il est évident que l'arc diurne parcouru ce jour-là est beaucoup plus grand que l'arc nocturne; le jour est par conséquent considérablement plus long que la nuit. Le 21 juin est aussi le plus long jour, et on dit alors que le soleil se trouve dans le *solstice d'été*.

A partir de ce jour, les arcs décrits par le soleil se rapprochent de plus en plus de l'équateur; le 23 septembre le soleil entre de nouveau dans l'équateur $A Q$, et nous avons alors l'*équinoxe d'automne*. Les jours suivants, le soleil s'éloigne de l'équateur vers le sud, les arcs diurnes deviennent de plus en plus petits, et par conséquent les jours de plus en plus courts, jusqu'à ce que, le 21 décembre, il arrive au solstice d'hiver, où nous avons le jour le plus court. A dater de là, le soleil se rapproche de nouveau de l'équateur, et y rentre le 21 mars.

Le temps endéans lequel nous faisons cette observation, c'est à-dire le temps qu'il faut au soleil pour s'élever de l'équateur à son point culminant supérieur S' , atteindre ensuite son point culminant inférieur S et revenir enfin à l'équateur, constitue une *année*, et celle-ci se compose de 365 jours 5 heures 48 minutes et 48 secondes.

Nous reconnaissons en même temps que l'observateur ne voit pas le soleil

se lever et se coucher chaque jour au même endroit, mais que les points où le soleil se couche avancent vers le nord (H') quand les jours allongent et vers le sud (H) quand ils diminuent. Le point O , où le soleil se lève à l'équinoxe du printemps, se nomme le *point équinoxial*.

34. Écliptique. D'après ce qui précède, le soleil nous présente deux espèces de mouvements apparents, savoir un mouvement circulaire s'élevant obliquement sur l'horizon, et qui s'explique par la rotation de la terre et notre position par rapport à l'axe terrestre; et un second mouvement ascendant et descendant

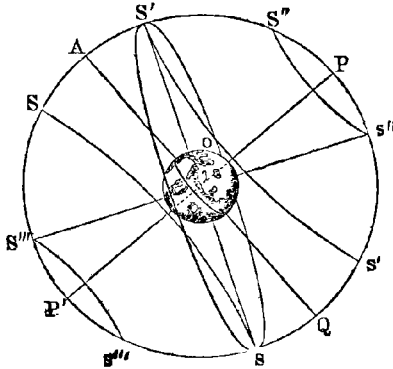


Fig. 30.

entre les points solsticiaux S et S' (fig. 30), d'où résulte l'inégalité des jours. Faisons un instant abstraction du mouvement diurne du soleil, et notons seulement qu'à l'époque du solstice d'été, le 21 juin, à midi, il arrive à S' , et qu'une demi-année plus tard, le 21 décembre, à minuit, il se trouve en s , d'où, après une nouvelle demi-année, il revient en S' . Alors nous pouvons nous représenter le chemin que le

soleil a parcouru par un cercle dont le diamètre est la ligne $S' s$ et on nomme ce cercle *l'écliptique*.

Le plan de l'écliptique coupe le plan de l'équateur $A Q$ sous un angle de $23^{\circ} \frac{1}{2}$, et le même angle résulte du croisement de l'axe de l'écliptique $S'' s''$ avec l'axe céleste $P' P$. Comme on le voit, les deux cercles parallèles $S' s'$ et $S s$ circonscrivent une zone disposée des deux côtés de l'équateur céleste, en dehors de laquelle le soleil ne se montre jamais pour nous. Ces deux cercles parallèles se nomment les *cercles équinoxiaux* ou les *tropiques*, parce que le soleil se retourne pour ainsi dire aussitôt qu'il est arrivé dans l'un d'eux, pour se rapprocher de nouveau de l'équateur. Les cercles parallèles $S'' s''$ et $S''' s'''$ décrits par les pôles de l'écliptique $S'' s''$ autour des pôles célestes P et P' se nomment les *cercles polaires*.

35. Phénomènes pendant la nuit. Les étoiles aussi, en décrivant leurs orbites au ciel, présentent à l'observateur un point culminant supérieur (S, A, S', S' , fig. 30) et un point culminant inférieur situé à l'endroit opposé de la sphère céleste. Ce n'est que dans les étoiles qui sont situées

plus près du pôle P , par exemple près de S' , que nous pouvons voir les deux points culminants. De telles étoiles ne se couchent jamais pour nous, et nous pouvons les apercevoir même pendant le jour dans le voisinage du pôle nord, lorsqu'il y a éclipse totale du soleil. Les étoiles plus éloignées S, A, S décrivent leur course en partie sous l'horizon, par conséquent elles se lèvent et elles se couchent. Quelques-unes d'entre elles, qui sont très-distantes du pôle, s'élèvent à peine au-dessus de l'horizon, pour disparaître aussitôt après. Enfin, celles qui sont plus rapprochées du pôle sud, comme par exemple S'' , décrivent leur cercle autour de celui-ci, sans jamais être visibles pour nous.

Mais jamais on ne remarque que les étoiles fixes changent, comme le soleil, leur position relativement à l'équateur et au pôle; elles ne s'en rapprochent ou ne s'en éloignent jamais. Une étoile qui se trouve aujourd'hui dans l'équateur près de A , continue à décrire chaque nuit, et pendant toute l'année, son cercle sur l'équateur. Il en est de même de toutes les autres étoiles, par exemple pour S, S', S'' , que nous rencontrons toute l'année à la même distance de l'équateur.

36. Mais les phénomènes décrits jusqu'ici se modifient considérablement, si nous plaçons l'observateur, soit à l'équateur, soit à l'un des pôles terrestres. Plaçons-nous, par exemple, au pôle nord, p (fig. 31) : l'étoile polaire se trouve naturellement dans le zénith Z , et le plan de l'horizon tombe dans le plan de l'équateur AQ . Lorsque le soleil se trouve au-dessus de l'horizon, il décrit son orbite autour de l'horizon sans se coucher.

De même les étoiles situées en S ou S' décrivent des cercles parallèles entre elles ainsi qu'avec le plan de l'horizon : c'est pourquoi elles ne se couchent ni ne se lèvent pour l'observateur p .

Nous démontrons plus tard que le soleil reste pendant la moitié de l'année au-dessus de l'horizon des habitants des régions polaires, que pendant tout ce temps il ne se couche pas, et que le jour dure par conséquent six mois. La nuit qui suit dure

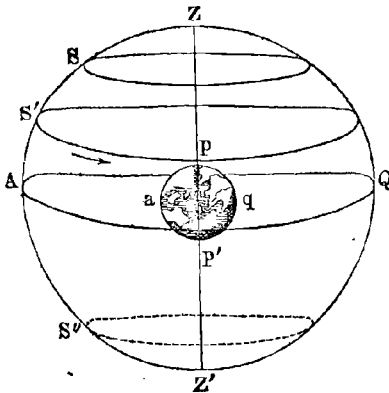


Fig. 31.

tout aussi longtemps, alors que le soleil descend au-dessous de l'horizon pour éclairer pendant six mois les habitants du pôle opposé.

37. Quand un observateur se trouve à l'équateur de la terre, en a

(fig. 32), alors pp est l'axe terrestre, et son prolongement représente l'horizon $P P'$ de cet observateur. Tandis que l'étoile polaire en P' dans l'horizon apparaît immobile, toutes

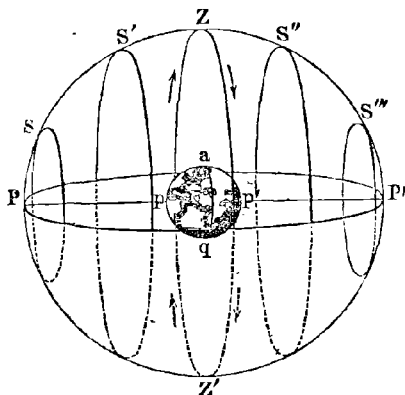


Fig. 32.

les autres étoiles, par exemple S, S', Z, S'', S''' , décrivent des cercles verticaux partagés par l'horizon en deux parties égales. Le soleil aussi décrit, au lever et au coucher, des cercles perpendiculaires à l'horizon. Comme on le voit, tous les arcs au-dessus de l'horizon sont parfaitement égaux à ceux qui sont au-dessous; c'est pourquoi à l'équateur, les étoiles ainsi que le soleil restent visibles pendant un temps égal à celui pendant lequel ils sont invisibles, c'est-à-dire que le jour comme la nuit ont une durée égale de douze heures.

38. Hauteur polaire. La hauteur du pôle Nord P (fig. 35) au-dessus de l'horizon HH' d'un observateur se nomme la *hauteur polaire* de ce dernier.

C'est ainsi, par exemple, que la hauteur polaire à laquelle l'étoile polaire P se présente à l'observateur o , peut s'exprimer aussi bien par l'arc $P H'$ que par l'angle que l'axe céleste $P P'$ forme avec l'horizon.

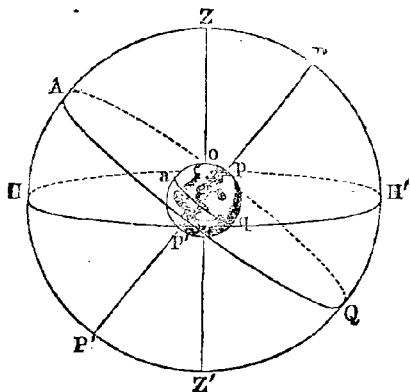


Fig. 35.

Par *hauteur équatoriale* on entend la distance entre une étoile A située au point culminant de l'équateur et l'horizon de l'observateur; on l'exprime aussi bien par l'arc AH que par l'angle que forme l'axe de l'équateur céleste $A Q$ avec l'horizon $H H'$.

Pris dans le même endroit, les arcs formés par les hauteurs polaire et équatoriale réunies forment toujours un arc de 90° , savoir un quart de cercle. C'est ainsi qu'à Dresde on voit l'étoile polaire sous un

angle de $51^{\circ} 2' 50''$ avec l'horizon, et on dit par conséquent que la hauteur polaire de Dresde est de $51^{\circ} 2' 50''$. Si nous soustrayons ce chiffre de 90° , nous obtenons pour hauteur équatoriale du même endroit $38^{\circ} 57' 10''$. Comme un endroit ne change pas de place sur la surface de la terre, sa hauteur polaire reste toujours la même, et on y voit toujours l'étoile polaire à égale hauteur au-dessus de l'horizon.

Par contre, l'observateur lui-même peut se déplacer à volonté sur la surface de la terre. S'il va, par exemple, dans la direction de o à p , l'étoile polaire s'élève de plus en plus au-dessus de son horizon, ou, en d'autres termes, la hauteur polaire de l'observateur augmente de plus en plus, tandis que sa hauteur équatoriale diminue dans le même sens. Lorsqu'il arrive en p , c'est-à-dire au pôle Nord, sa hauteur polaire est de 90° , l'étoile polaire est alors dans son zénith, tandis que l'équateur coïncide avec son horizon, et par conséquent sa hauteur équatoriale est $= 0^{\circ}$. (Voir fig. 31.)

Mais si le voyage se fait dans la direction opposée, c'est-à-dire de o vers l'équateur a , alors l'étoile polaire descend de plus en plus vers son horizon, et par conséquent la hauteur polaire diminue constamment, tandis que sa hauteur équatoriale augmente dans la même proportion. Arrivé à l'équateur, en a , la hauteur polaire est $= 0^{\circ}$, car maintenant l'étoile polaire est dans son horizon, tandis que l'équateur céleste est dans son zénith. (Voir fig. 32.)

On le voit aisément, la hauteur polaire d'un endroit n'est pas autre chose que ce que nous avons compris au § 27 sous le nom de *latitude*, savoir sa distance de l'équateur terrestre ; sa hauteur équatoriale peut donc aussi en être déduite.

La circonstance que la hauteur polaire pour une étoile augmente ou diminue selon que l'on se dirige vers le pôle Nord ou vers l'équateur, est une preuve frappante de la forme sphérique de la terre.

39. Par hauteur d'une étoile on comprend sa distance de l'horizon d'un observateur. Pour exprimer la hauteur, on se sert des cercles dits *verticaux* ZR et ZR' (fig. 34), que

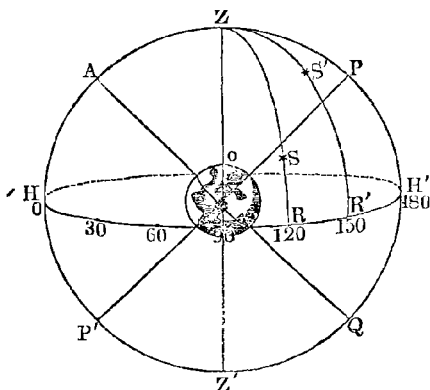


Fig. 34.

l'on se figure tracés du zénith vers l'horizon HH' en passant respectivement par les étoiles S et S' . Les arcs SR et $S'R'$ sont alors pour l'observateur o les hauteurs des étoiles S et S' . On nomme *distance zénithale* de ces mêmes étoiles les arcs SZ et $S'Z$, qui constituent avec leur hauteur respective un quart de cercle de 90° .

Cependant, pour pouvoir déterminer plus exactement la position de ces étoiles par rapport à l'horizon, on divise celui-ci à partir du point sud H jusqu'au point nord H' en 180 degrés et on désigne la distance entre le cercle vertical et le point sud, exprimée en degrés, sous le nom d'*azimut* de cette étoile. C'est ainsi que l'azimut de l'étoile S est constitué par l'arc $RH = 120^\circ$, celui de S' par l'arc $R'H = 150^\circ$. Toutes les étoiles qui se trouvent sous le même cercle vertical, ont naturellement un azimut identique et, selon le côté du ciel où l'étoile se trouve, on nomme son *azimut oriental* ou *occidental*.

Une étoile, observée en même temps de différents points de la terre, se présente naturellement aux divers observateurs à des hauteurs différentes.

Lorsqu'un voyageur ou un navigateur, par exemple, connaît exactement la hauteur d'une étoile pour un endroit donné et à un moment déterminé, il peut, à la hauteur de cette étoile, n'importe où il l'observe, trouver la situation de l'endroit; c'est pourquoi la détermination des hauteurs constitue une des connaissances les plus importantes du navigateur; aussi exerce-t-on de bonne heure à cette pratique tous ceux qui se vouent à cette carrière.

40. Méridien. Si nous nous figurons au ciel un cercle $ZH'ZH$ (fig. 55) passant par le zénith Z et le nadir Z' de l'observateur o et en même temps

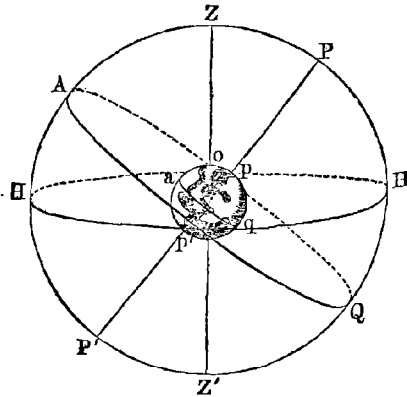


Fig. 55.

par les pôles célestes P, P' , ce cercle représente le *méridien* ou le *cercle méridien* de l'observateur o . Il doit ce nom à la circonstance que pour l'observateur il est midi dès que le soleil y entre, ainsi que nous l'avons déjà montré au § 33. Il y entre encore une fois à minuit. Il atteint en ce moment son point culminant, et la même chose a lieu lorsqu'une étoile entre dans le méridien. On comprend que plusieurs étoiles puissent entrer simultanément dans le méridien, car on peut se figurer à la fois beaucoup d'étoiles sur l'arc $HAZP$.

Dans la fig. 55, le méridien est le seul des cercles célestes qui se trouve dans le plan du papier, tandis que l'horizon, l'équateur et les cercles verticaux ressortent sur ce plan, ce qui n'a pu être indiqué sur la figure que d'une manière imparfaite et réduite. Le point du méridien coupe l'horizon de l'observateur à angle droit dans la ligne HH' , qui a déjà été désignée plus haut, § 32, sous le nom de *ligne méridienne*. De même que la hau-

leur du pôle et de l'horizon varie pour chaque point de la surface terrestre, de même chaque endroit possède son méridien particulier.

Lorsqu'un observateur, par exemple *o*, tourne par une nuit étoilée le dos à l'étoile polaire et dirige le regard exactement vers le point sud *H*, il s'est placé dans la direction de son méridien. S'il observe dans cette position une étoile qui se trouve dans le méridien, il arrivera, par suite de la rotation de la terre, que cette étoile au bout d'un certain temps ne se trouvera plus dans le méridien, et paraîtra déviée à l'ouest, tandis que d'autres étoiles apparaîtront dans le méridien. Mais si l'on a noté exactement l'heure à laquelle une étoile passe à travers le méridien, on la verra au bout de 24 heures exactement à la même place.

Sur la sphère céleste artificielle, le méridien est représenté par un cercle de laiton dans lequel le globe tourne.

Il est impossible de donner à l'œil libre une direction assez fixe pour

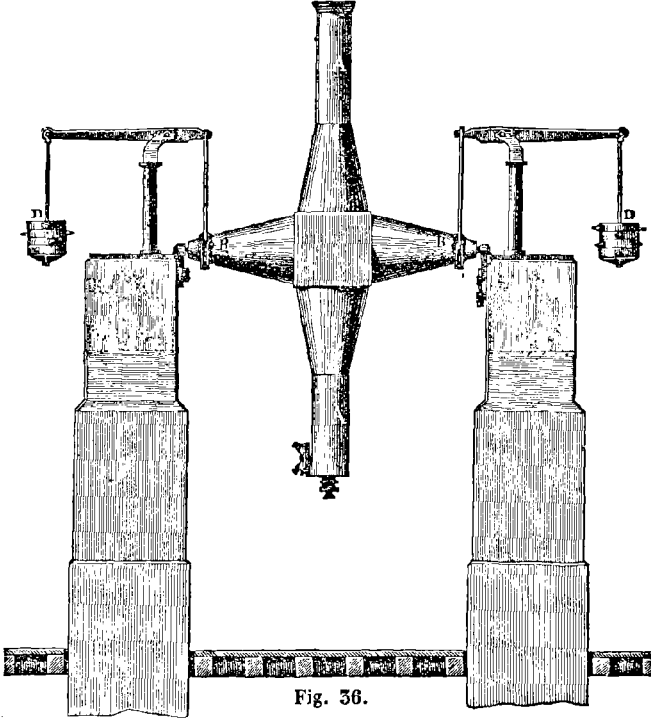


Fig. 36.

conserver exactement dans le ciel la ligne du méridien. C'est pourquoi, dans les observations exactes, on dispose une lunette (fig. 36) tournant sur son

petit axe BB , de telle sorte que son axe longitudinal AA corresponde exactement à la direction du méridien. A travers ce tube on ne peut apercevoir les étoiles qu'au moment de leur passage à travers le méridien : c'est pourquoi on le nomme *lunette méridienne* ou *instrument des passages*. Comme cet instrument sert aux observations astronomiques les plus essentielles, on l'établit avec les plus grands soins. Son axe de rotation repose sur des coussinets supportés par des piliers massifs de pierre. Ces derniers ont pour fondement des murs particuliers qui ne communiquent d'aucune manière avec le bâtiment, afin que des ébranlements ou des oscillations fortuites ne puissent exercer la moindre influence sur l'instrument. Pour faciliter la rotation de l'appareil, on adapte les contre-poids DD , qui font équilibre.

41. Toutes les lignes et tous les points que nous avons nommés jusqu'ici n'indiquent la position d'un astre que pour un endroit déterminé de la surface terrestre. C'est pourquoi la position d'une étoile sur la sphère céleste doit se déterminer en ayant recours à d'autres lignes qui ont vis-à-vis d'elle une position immuable. L'équateur constitue une ligne de cette nature.

Il indique en premier lieu si une étoile se trouve sur l'hémisphère nord ou sur l'hémisphère sud. On tire de l'équateur, en partant du point

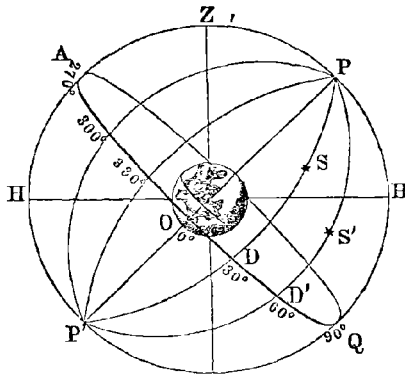


Fig. 37.

équinoxial du printemps O (fig. 37), 180 cercles qui le divisent en 360 degrés. La distance d'un de ces cercles au point O , se nomme l'*ascension droite* de l'étoile qui se trouve dans le cercle. C'est ainsi que les arcs OD de 50° et OD' de 60° désignent l'ascension droite des étoiles S et S' .

La distance d'une étoile à l'équateur se nomme sa *déclinaison*, et elle peut être *boréale* ou *australe*. Les arcs DS et $D'S'$ expriment la déclinaison nord des étoiles S et S' .

On nomme en conséquence tous les cercles tirés à travers l'équateur les *cercles de déclinaison*.

On voit que l'indication de l'ascension droite et de la déclinaison d'une étoile détermine sa position sur la sphère céleste, de la même manière que l'indication de la latitude et de la longitude d'un endroit désigne sa situation sur la sphère terrestre.

42. Le globe céleste. Nous avons dans les paragraphes qui précèdent indiqué et désigné un nombre assez important de lignes et de points. Il ne sera pas inutile de les passer encore une fois en revue. Il est à la vérité difficile, et dans quelques cas même impossible, de se représenter, sans autres moyens auxiliaires, tous ces points et toutes ces lignes, et sous ce rapport un globe céleste est d'un grand secours. On peut s'en procurer presque dans chaque librairie avec des diamètres variables de 8, 10, 15, 20 et 30 centimètres, à des prix qui varient de 5 à 100 fr. Bien que les plus grands soient préférables, les plus petits offrent déjà une précieuse ressource pour l'intelligence de l'astronomie.

La meilleure disposition du globe céleste serait celle où une petite sphère représentant la terre serait entourée d'une très-grande sphère représentant la voûte du ciel, et sur laquelle seraient marquées les étoiles et les lignes voulues. Mais comme une telle disposition est inexécutable, on doit, dans l'exploration du globe céleste, constamment se rappeler que l'œil de l'observateur devrait en réalité se trouver au centre de la sphère.

43 Points et lignes sur le globe (fig. 38).

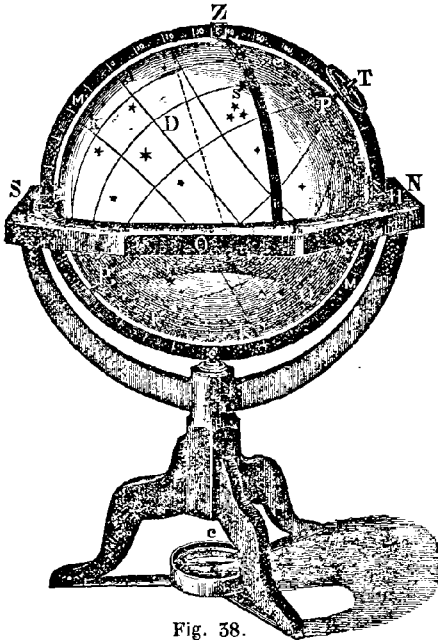


Fig. 38.

- Z* Zénith de l'observateur (§ 27).
- P* Pôle nord (§ 31).
- P'* Pôle sud.
- S* Sud (§ 32).
- N* Nord.
- O* Est (en face de l'Ouest).
- e e* Le tropique boréal (§ 54).
- k k* Le tropique austral.
- e' e'* Cercle polaire nord.
- k' k'* Cercle polaire sud.
- M* Méridien de l'observateur (§ 40).
- T* Cadran horaire (§ 44).
- P H'* Hauteur polaire de l'observateur (§ 38).
- P P'* Axe céleste (§ 31).
- A Q* Équateur céleste (§ 31).
- H H'* Horizon (§ 29).
- e k* Ecliptique (§ 54).
- s* Étoile.
- A H* Hauteur équatoriale (§ 38).
- s R* Hauteur de l'étoile (§ 39).
- s Z* Sa distance zénithale (§ 39).
- R H* Son azimut (§ 39).
- s D* Sa déclinaison boréale (§ 41).
- D A* Son ascension droite.
- s P* Sa distance polaire.

Le globe céleste repose d'abord sur deux pivots placés aux pôles *P P'* dans un cercle métallique *M*, qui représente le méridien

de l'observateur et qui est à quelques millimètres de distance du globe, pour que celui-ci puisse aisément tourner dans son intérieur.

Le méridien se fixe dans des entailles pratiquées au support horizontal et au pied de celui-ci, et qui permettent de donner au globe des positions différentes par rapport à l'horizon. Le cercle horizontal HH' représente l'horizon rationnel de l'observateur. Le méridien est divisé, à partir du point A de l'équateur AQ , en 90° , tant vers le Nord que vers le Sud. En amenant une étoile quelconque sous le méridien, on peut y lire sa déclinaison. Le cercle du méridien sert en outre à placer le globe à la hauteur polaire de l'observateur.

L'horizon, à partir du point sud S , est divisé en 360° , et on peut y lire l'azimut des étoiles.

Au point Z du méridien, qui correspond au zénith de l'observateur, on peut adapter, au moyen d'une vis, un quart de cercle métallique ZR , qui, à partir de l'horizon, est divisé en 90 degrés qui indiquent la hauteur de l'étoile ainsi que sa distance du zénith.

Avant tout, il faut que le globe soit placé dans une position qui réponde à l'endroit de la terre où l'observateur se trouve; à cet effet, il faut que le méridien du globe céleste soit placé dans la ligne méridienne de l'observateur et que la hauteur polaire PH' corresponde à la hauteur polaire de l'observateur. La dernière chose est très-simple, car l'habitant de l'équateur, par exemple, dont la hauteur polaire est égale à zéro (fig. 37), place le globe de telle sorte que ses deux pôles PP correspondent au plan de l'équateur, tandis que l'habitant de Francfort-s/Mein placera le globe de manière que l'arc PH' soit égal à 50 degrés.

La recherche du méridien se fait à l'aide d'une boussole C , qui se trouve à cet effet annexée à tout globe de dimension un peu grande. On tourne le support avec le globe jusqu'à ce que le plan du méridien M ou la ligne que l'on se figure tracée de H en H' soit parallèle avec l'aiguille aimantée dirigée vers le Nord. Mais au § 191 de la *Physique* nous avons vu que l'aiguille magnétique ne se dirige pas exactement vers le Nord, qu'elle en dévie un peu. Pour cette raison on tourne encore une fois le support du globe vers l'Est afin que le méridien M forme avec l'aiguille un angle de 18° , qui correspond à la déclinaison occidentale de l'Allemagne, et il aura de cette manière exactement la direction du Nord au Sud.

44. Une autre disposition du globe se nomme le cadran horaire T (fig. 58), que la fig. 59 montre plus distinctement divisé en deux fois douze parties égales ou heures, correspondant aux 24 heures de jour et de nuit. Le cadran horaire est immobile sur le méridien MM , mais dans son centre passe un prolongement du globe, auquel se trouve adaptée une aiguille qui marche sur le cercle quand on fait tourner le globe. Lorsque celui-ci fait une rotation complète, et que par conséquent les

360 degrés de l'équateur passent sous le méridien, l'aiguille parcourt également le cercle entier des 24 heures; par conséquent, le globe parcourt pour chaque heure un espace de 15 degrés. Mais l'aiguille ne forme pas corps avec l'axe; elle peut tourner sur celui-ci à frottement ou au moyen d'une vis, de telle sorte que l'on peut placer l'aiguille sur tout chiffre voulu du cadran, sans faire tourner en même temps le globe. L'importance du cadran horaire pour l'usage du globe va ressortir de suite de son application.

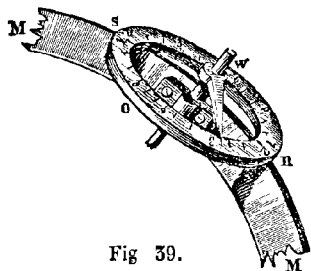


Fig. 39.

Quand le globe est convenablement placé par rapport à la hauteur polaire et au méridien, il faut encore lui donner une position en rapport avec l'heure de l'observation, pour qu'il corresponde aux étoiles qui sont alors visibles. On part en cela de la considération suivante : Chaque jour à midi, le soleil se trouve dans le méridien de l'observateur (V. § 40); on amène en conséquence d'abord sous le méridien en cuivre cette partie du globe où le soleil se trouve à midi. Ce point doit nécessairement se trouver sur l'écliptique. Au commencement du printemps, au 21 mars, il sera au point où celle-ci coupe l'équateur, point à partir duquel on a divisé ce dernier en 360 degrés. Pour chaque jour suivant, le soleil avance presque exactement d'un degré, de sorte, par exemple, que 204 jours après, ainsi à la mi-octobre, l'ascension droite du soleil (§ 41) ou sa distance du point équinoxial est de 204 degrés. Si j'amène ce degré de l'équateur sous le méridien, la place où ce dernier coupe l'écliptique sera la place où se trouve le soleil à midi. On place conséquemment l'aiguille du cadran horaire sur un des deux chiffres 12, puis on tourne le globe jusqu'à ce que l'aiguille marque l'autre chiffre 12 (il y a donc eu demi-rotation), et toutes les constellations se trouvent sur le globe à la même place qu'elles occupent à minuit au ciel dans l'endroit où se trouve l'observateur. On verra de cette manière qu'à cette heure-là la constellation Cassiopée est située dans le méridien. Selon que l'on tourne le globe à droite ou à gauche, on peut amener l'aiguille à toute heure avant ou après minuit et voir les étoiles qui sont visibles dans ce moment.

En général, on peut résoudre sur le globe une grande série de problèmes que l'on trouve par la réflexion ou bien qui sont tout posés dans des instructions qui accompagnent souvent les globes célestes.

Au commencement on éprouve quelque difficulté pour rapporter l'image du ciel au globe et celle du globe au ciel. Car on doit se placer fictivement dans le centre du globe et se figurer des lignes droites tracées de

ce point central vers les astres désignés sur le globe ; puis, en prolongeant ces lignes droites vers le ciel on y trouve, en réalité, les étoiles correspondantes.

Il est bon de commencer ses observations dans le crépuscule ou bien par un beau clair de lune ; car alors on ne voit que les étoiles les plus grandes et les plus apparentes, et on n'est pas dérangé par le trop grand nombre. Une fois que l'on connaît exactement les étoiles les plus importantes, on trouve bientôt les plus petites.

C. DIVISION DES CORPS CÉLESTES.

45. Du point de vue de la terre, l'astre brillant qui nous éclaire pendant le jour, le *soleil*, aussi bien que la *lune* qui se distingue par la succession de ses phases, sont uniques dans leur espèce et méritent par conséquent une étude spéciale.

Comparés aux autres étoiles, ces deux astres se présentent par leur grandeur apparente comme des potentats puissants et spéciaux ; mais cette manière de voir, quoique fort ancienne et souvent employée au figuré, est essentiellement compromise par les observations astronomiques.

Toutefois, on remarque encore dans la légion des étoiles ordinaires maintes différences. Ainsi nous voyons que le plus grand nombre des étoiles se montrent toujours à la même place du ciel, quand nous les regardons aux mêmes jours et aux mêmes heures ; elles ne changent pas non plus de place relativement les unes aux autres ; elles forment toujours les mêmes groupes, conservent les mêmes distances entre elles : c'est ce qui justifie l'appellation d'*étoiles fixes* qui leur a été donnée.

Certaines autres étoiles, par contre, se déplacent dans le ciel d'une manière frappante ; on les voit avec une certaine régularité tantôt à une région, tantôt à une autre, tantôt près d'une étoile, tantôt près d'une autre : on les a désignées sous le nom d'*étoiles errantes* ou de *planètes*.

Enfin, il y a encore les *comètes*, qui sont extrêmement remarquables, tant par la présence d'une bande lumineuse brillante plus ou moins longue, qui suit l'étoile comme une queue, que par leurs déplacements au ciel, encore beaucoup plus étendus que ceux des planètes. Car les comètes apparaissent quelquefois subitement, et disparaissent de même ; d'autres ne reparaisent qu'au bout d'une longue série d'années.

Nous commencerons par la description des étoiles fixes, car elles ont une importance très-grande pour la géographie du ciel. Nous rechercherons ensuite les rapports de la terre avec le soleil et la lune, rapports dont dépendent les saisons et les divisions du temps ; enfin, après quelques considérations sur les planètes et les comètes, nous terminerons en exposant quelques idées générales sur l'ordre du monde.

46. Les étoiles fixes. Quelque temps d'observation attentive au ciel à l'aide du globe ou d'un planisphère céleste, nous met bientôt à même de nous retrouver dans ces espaces et nous fait voir ces étoiles, en apparence si confuses, groupées d'une manière si régulière que l'œil finit par s'y habituer tellement qu'une modification ne pourrait guère lui échapper.

A peine le soleil a-t-il disparu à l'horizon, que nous voyons s'élever dans le ciel crépusculaire quelques étoiles, formant des points brillants isolés; leur nombre s'accroît, au fur et à mesure que l'obscurité augmente, et arrive bientôt à un chiffre qu'à l'aide du télescope on reconnaît inestimable et incompréhensible. Des places qui, à l'œil nu, paraissent de simples taches claires, nébuleuses, se montrent à travers la lunette comme des accumulations d'innombrables étoiles. Cette zone claire, connue sous le nom de *voie lactée*, se révèle alors comme formée par des millions d'étoiles.

La grandeur apparente de ces étoiles varie considérablement. Tandis que les unes brillent et scintillent d'un éclat plus vif que toutes les autres, il en est qui se font à peine remarquer comme des points lumineux. On a distingué d'après cela les étoiles visibles à l'œil nu en six classes : savoir 18 étoiles de première grandeur, 60 de seconde, 200 de troisième, 580 de quatrième et environ 5 000 de cinquième et de sixième grandeurs. A l'aide du télescope on a compté environ 70 000 étoiles; mais pour des raisons que nous ne pouvons développer, on a estimé le nombre total des étoiles dans l'espace à 273 millions, voire même à 500 000 millions.

Même avec les télescopes les plus puissants, les étoiles fixes n'apparaissent que comme de petits points lumineux immobiles. Cette circonstance seule fait pressentir leur distance extraordinaire. Mais cette présomption se confirme encore par le fait que deux étoiles fixes rapprochées nous apparaissent toujours à la même distance, de quelque point du globe terrestre que nous les regardions. Bien que les points les plus éloignés de l'orbe terrestre soient distants de 42 millions de milles géographiques ou environ 31 millions de myriamètres, ce n'est encore que sur un bien petit nombre d'étoiles que l'on est parvenu à déterminer la parallaxe annuelle, c'est-à-dire l'angle que formeraient à cette étoile les deux lignes menées de là aux deux extrémités d'un rayon de l'orbe terrestre dont la grandeur est de 21 millions de lieues géographiques ou 15 millions de myriamètres. Une des indications les plus certaines est celle du célèbre astronome Bessel, à Königsberg, qui est parvenu à déterminer la parallaxe de l'étoile n° 61 dans la constellation du Cygne, qu'il a trouvée = 0,3156 seconde. Cette parallaxe donne pour distance moyenne entre le soleil et l'étoile n° 61 du Cygne 13 592 000 millions de milles géographiques, entre 9 et 10 trillions de myriamètres. La lumière, qui a une vitesse de 42 000 milles géographiques (30 000 myriamètres) à la seconde, ne traverserait cette distance qu'au bout de 10 années et 3 mois.

Une locomotive qui parcourrait journellement 300 lieues géographiques n'arriverait à cette étoile qu'au bout d'environ 200 millions d'années.

Il n'a pas encore été possible jusqu'ici de déterminer une parallaxe plus grande qu'une seconde. Il est donc des raisons pour admettre que les étoiles fixes qui sont le plus rapprochées de nous, se trouvent au moins à 4 billions de lieues géographiques, autrement dit à une distance 200 000 fois plus grande que celle de la terre au soleil, qui est de 20 millions de lieues géographiques ou d'environ 15 millions de myriamètres.

Une telle distance se nomme *une distance stellaire*, et, pour venir quelque peu au secours de notre imagination, qui s'efforce en vain de se représenter un tel espace, nous ferons observer que la lumière, avec sa vitesse de 30 000 myriamètres à la seconde, met au moins trois ans pour parvenir de l'étoile fixe la plus rapprochée jusque sur la terre.

Mais cela n'implique encore aucune espèce de limite; car on peut au contraire admettre avec certitude qu'il y a des étoiles fixes qui sont à des distances encore beaucoup plus considérables, s'élevant jusqu'à un million et demi de fois la distance du soleil à la terre, et à la lumière desquelles il faudrait mille et même plusieurs milliers d'années pour atteindre notre terre.

Des corps qui sont encore visibles à des distances incompréhensibles pareilles, doivent naturellement avoir une grandeur colossale, et nous pouvons admettre avec raison qu'il n'y a aucune étoile fixe qui soit plus petite que le soleil, et qu'il en est beaucoup parmi elles qui dépassent cette grandeur.

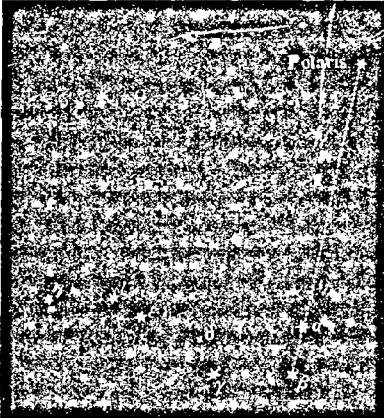


Fig. 40.

reconnaisable (fig. 40) a été comparée tantôt à un ours, tantôt à un chariot. Toutefois, pour la plupart des constellations l'imagination a pris un champ très-large; il est assez difficile de trouver dans les contours d'un groupe quelque rapport avec son nom, de sorte que l'on ne peut, en réalité, y ajouter la moindre importance.

47. Le ciel étoilé visible en Europe. Depuis les temps les plus anciens, on a rassemblé et distingué certains groupes d'étoiles. Une imagination vive a donné aux contours des constellations résultant de ce groupement la forme et le nom de divers objets connus. C'est ainsi que la constellation très-facilement re-

48. Quand on observe le ciel étoilé, on ne voit pas en tout temps et en tout lieu les mêmes étoiles ; il se présente au contraire des différences notables sous ce rapport, selon le point de la surface terrestre d'où l'observation se fait, et selon la saison et l'heure où elle a lieu. Un observateur placé au pôle nord a dans son zénith l'étoile polaire, qui se trouve presque au centre sur notre planisphère céleste, Pl. I, et de là il a vue sur toute la moitié nord de l'hémisphère céleste, et par conséquent sur toutes les étoiles situées sur le planisphère à l'intérieur du cercle désigné sous le nom d'équateur. Celui-ci se trouve dans son horizon et les étoiles de l'hémisphère sud ne sont jamais visibles pour lui. Un habitant de l'équateur voit à la fois la moitié de l'hémisphère céleste boréal et la moitié de l'hémisphère austral, et l'étoile polaire se trouve dans son horizon.

La plus grande partie de l'Europe se trouve entre le 40° et le 70° degré de latitude nord ; en conséquence, les Européens voient toutes les étoiles de l'hémisphère boréal ainsi qu'une partie plus ou moins grande de l'hémisphère austral, selon qu'ils sont plus ou moins rapprochés de l'équateur.

Dans toutes les circonstances, on ne peut jamais apercevoir à la fois qu'une moitié du ciel savoir une partie égale à celle que circonscrit l'équateur sur le planisphère. Si néanmoins celui-ci contient une partie beaucoup plus grande de l'espace céleste que l'on ne peut voir à la fois, cela dépend de ce que toute la carte devient visible insensiblement. Il est aussi facile de comprendre que de s'assurer que, par suite de la rotation de la terre, il y a constamment des étoiles qui se couchent à l'ouest et de nouvelles étoiles qui se lèvent à l'est. On peut encore, à l'aide des auxiliaires décrits § 56 à 58 et de la fig. 46, acquérir la conviction qu'à raison des différentes positions de la terre vis-à-vis du soleil pendant qu'il décrit son orbite, l'aspect du ciel ne peut absolument pas être le même à des heures identiques dans des saisons différentes.

Nous allons tâcher maintenant de démontrer comment il est possible de désigner sur notre planisphère, qui représente d'une manière générale toute la circonscription du ciel visible pour nous, la partie spéciale qui se présente à certain soir et à certaine heure déterminés. A cet effet, on a ajouté la Pl. II, que nous nommons le *disque de l'horizon*. On y aperçoit une bande annulaire blanche interrompue plusieurs fois par des places obscures, et à l'intérieur la découpeure de l'horizon qui forme une surface blanche assez grande et de forme ovale. On remarque en outre sur la planche, près du mot « Sud » une *flèche* ; et de ce point part une division en deux fois douze heures, subdivisées elles-mêmes en quarts d'heure. Pour l'usage on fait coller la pl. II sur un carton et découper toutes les parties blanches qui s'y trouvent. Lorsqu'on place ensuite ce disque arrangé de cette manière sur le planisphère, de façon que les noms des mois et les dates des jours ressortent partout hors de la découpeure de

la bande, alors toutes les étoiles situées à l'intérieur de la découpe ovale du disque se trouvent dans l'horizon de l'observateur et cela vers l'heure de minuit du mois et du jour, sur lequel la flèche citée du disque est dirigée. Désire-t-on savoir pour une autre heure quelles étoiles y seront visibles, on tourne le disque sur le planisphère fixe, soit à droite, soit à gauche, jusqu'à ce que la date et l'heure correspondent sur les deux planches. Les étoiles qui se trouvent au bord oriental du disque se lèvent à l'instant, celles au bord occidental se couchent et enfin celles qui sont placées sur la ligne droite que l'on se figure tracée du « Nord » au « Sud » culminent.

Cette disposition permet en outre de déterminer les moments du lever et du coucher du soleil. A cette fin, il faut tout d'abord qu'on sache en quel point de l'écliptique elle se trouve ce jour là; et l'on y arrive en cherchant le jour voulu au bord du planisphère et en traçant de là une ligne droite à travers le milieu de la carte (près de l'étoile polaire) et en la prolongeant jusqu'à ce qu'elle rencontre la partie de l'écliptique située dans cette direction. On trouvera, par exemple, de cette manière que le 11 octobre, le soleil se trouve dans la constellation de la Vierge, tout près de l'étoile brillante nommée « Épi de la Vierge ». Si l'on applique alors le disque de l'horizon sur le planisphère, de manière à amener ce point de l'écliptique contre l'horizon oriental ou occidental, on trouve que le 11 octobre le soleil se lève à 6 heures 40 minutes et se couche le soir à 5 heures 20 minutes. Toutefois il ne faut pas perdre de vue que ces indications se rapportent au véritable temps solaire; pour obtenir le temps moyen, nous appliquons l'équation du temps que dans le tableau du § 62 nous trouvons au 11 octobre de — 15 minutes, de sorte que, d'après le temps moyen, le soleil se lève à 6 heures 27 minutes et se couche à 7 heures 7 minutes.

On voit par là que le planisphère ainsi arrangé peut très-bien en partie remplacer une sphère céleste.

Strictement parlant, le disque de l'horizon n'est tout à fait exact que pour les endroits situés sur le cinquantième degré de latitude nord ou pour ceux qui n'en sont pas très-éloignés, ainsi pour les villes de Mayence, Francfort, Prague, Bruxelles et toute la Belgique, etc. Pour des endroits situés plus au nord et plus au sud la découpe du disque devrait être un peu modifiée. Malgré cela, on pourra toujours l'employer dans toute l'Europe centrale pour reconnaître les étoiles qui se trouvent à un moment donné au-dessus de l'horizon.

49. Pour procéder à l'examen des constellations elles-mêmes, nous croyons ne pouvoir mieux faire que de commencer par celles qui se trouvent dans le voisinage de l'étoile polaire; car elles sont visibles pour nous chaque soir, même pendant la nuit entière, puisqu'elles ne se cou-

chent jamais. Cela a lieu pour toutes les étoiles dont la distance polaire est de 40 à 50 degrés.

Nous prendrons pour point de départ la *Grande Ourse* (fig. 40), qui est une constellation si apparente, que presque tout le monde la connaît, même sans être familiarisé avec l'astronomie. Elle se compose de sept étoiles, dont six de seconde grandeur; quatre d'entre elles sont disposées en quadrilatère, les trois autres sont dans la queue de l'*Ourse*. Les deux étoiles du quadrilatère opposées à la queue se nomment les *gardes* de la *Grande Ourse*. Si l'on se figure une droite menée par ces deux gardes et prolongée dans le ciel, elle rencontrera une étoile isolée de seconde grandeur, qui est l'*étoile polaire*, appartenant à la *Petite Ourse*. Nous avons déjà différentes fois parlé de l'importance de cette étoile, qui n'est distante que de $1\frac{2}{3}$ degré du pôle et peut donc être considérée comme le point autour duquel toute la voûte céleste tourne.

Une des constellations les plus étendues est le *Dragon* qui, avec un grand nombre d'étoiles de troisième et de quatrième grandeur, serpente autour de la *Grande* et de la *Petite Ourse*, et circonscrit presque la moitié du cercle polaire.

A l'opposé de la *Grande Ourse*, de l'autre côté du pôle, on aperçoit dans cinq étoiles de seconde et troisième grandeur, formant un *W*, la constellation de *Cassiopee*, située à moitié dans la voie lactée. Quand on mène une droite de cette constellation vers la *Grande Ourse*, et que cette droite est coupée dans son milieu par une ligne perpendiculaire, celle-ci montrera à droite la *Chèvre*, étoile de première grandeur faisant partie du *Cocher*, et à gauche *Wéga*, également de première grandeur, dans la *Lyre*.

Comme groupes remarquables qui se trouvent à l'intérieur du tropique du *Cancer*, nous citerons encore le *Bouvier* et l'étoile de première grandeur *Arcturus*, qui en fait partie et que l'on rencontre en prolongeant une droite menée à travers les deux dernières étoiles de la queue de la *Grande Ourse*. Tout près de *Cassiopee*, se trouve *Persée*, avec une étoile de seconde grandeur, placée à un endroit très-vif de la voie lactée. De là on trouve facilement les trois étoiles brillantes d'*Andromède*, ainsi que le *Pégase*, reconnaissable par ses quatre étoiles de seconde grandeur placées en quadrilatère.

50. Constellations de l'écliptique. Nous arrivons maintenant à une région du ciel limitée par les deux tropiques et qui a pour nous un intérêt particulier, parce que c'est dans ses limites que nous trouvons les *constellations de l'écliptique* ou *zodiacales*.

De tous les cercles du ciel que nous avons énumérés au § 43, l'écliptique est le seul que nous voyions réellement marqué au ciel par douze constellations. L'importance qui s'attache à ces constellations ne pourra

être démontrée que plus tard ; pour le moment, nous allons chercher à les découvrir avec le secours de notre planisphère.

Ainsi que le montre la planche I, l'équateur coupe l'écliptique en deux points ; par conséquent, une de ses moitiés est située sur l'hémisphère céleste boréal, l'autre sur l'hémisphère céleste austral.

Nous distinguons donc les constellations boréales et les constellations australes de l'écliptique, dont les noms ainsi que les signes très-anciens sont les suivants :

I		II	
BORÉALES.		AUSTRALES.	
1. Le Bélier	♈	7. La Balance	♎
2. Le Taureau	♉	8. Le Scorpion	♏
3. Les Gémeaux	♊	9. Le Sagittaire	♐
4. Le Cancer	♋	10. Le Capricorne	♑
5. Le Lion	♌	11. Le Verseau	♒
6. La Vierge	♍	12. Les Poissons	♓

L'aspect du planisphère céleste nous montre que ces constellations n'occupent pas au ciel des espaces égaux et ne forment par conséquent pas un cercle divisé en douze parties égales ; car la *Balance*, par exemple, n'a qu'une longueur de 20 degrés, tandis que les *Poissons* s'étendent sur 43 degrés. Par contre, les signes du zodiaque sont notés exactement à des distances de 30 degrés.

Il doit également paraître singulier que, sur la carte, on trouve, à côté de chaque signe, non la constellation correspondante, mais celle qui précède ; c'est ainsi que le signe de la *Balance* ♎ se trouve dans la constellation de la *Vierge*, etc. Nous en indiquerons la raison plus loin. 4 279

Nous abordons les constellations nord de l'écliptique par le point équinoxial où elle coupe l'équateur, et nous trouvons d'abord le *Bélier*, dont les trois étoiles principales, parmi lesquelles la plus claire est de seconde grandeur, se trouvent à la tête. Après, vient le *Taureau*, au-dessous de *Persée* et du *Cocher*, et facilement reconnaissable au V que forme à sa tête un groupe de quatre étoiles, nommées les *Hyades*. L'étoile de première grandeur à l'extrémité supérieure du V est *Aldébaran*. Sur le dos du *Taureau*, on voit les *Pléiades*, un groupe de petites étoiles rapprochées qu'on nomme encore la *Poussinière*.

Dans les *Gémeaux*, le soleil atteint sa plus grande élévation boréale. Nous y trouvons deux étoiles brillantes, *Castor* et *Pollux*, de seconde grandeur, aux têtes de la constellation, et quatre étoiles de troisième grandeur, qui forment ensemble un rectangle allongé.

Cette région du ciel acquiert un éclat tout particulier par le rassemblement de plusieurs constellations, dont la plus remarquable est celle

d'*Orion*, au sud, en dessous du *Taureau* et des *Gémeaux*, et qui nous frappe par deux étoiles de première grandeur, savoir *Adaher*, à l'épaule orientale, et *Rigel*, au pied occidental. Entre les deux, trois étoiles de seconde grandeur forment la *Ceinture d'Orion* ou le *Bâton de Jacob*. Dans le voisinage de cette ceinture, se trouve la remarquable tache nébuleuse d'*Orion*. *Adaher* forme un triangle régulier avec deux autres étoiles de première grandeur, savoir *Procyon* du *Petit Chien* et *Syrius*, la plus brillante de toutes les étoiles, dans la tête du *Grand Chien*, et nommée pour cette raison encore *étoile caniculaire*. On voit cette constellation, pendant les *jours dits caniculaires* (de juillet à août), se coucher et se lever en même temps que le soleil, qui à cette époque a atteint sa plus grande hauteur et répand le plus de chaleur.

L'écliptique descend maintenant de la constellation peu apparente du *Cancer*, composée d'étoiles faiblement brillantes, vers le *Lion*, reconnaissable par quatre étoiles principales qui forment un grand trapèze, et parmi lesquelles se distingue *Régulus*, étoile de première grandeur. Vient ensuite la *Vierge*, reconnaissable par cinq étoiles formant un *V* ouvert et par une étoile brillante de première grandeur nommée *Épi de la Vierge*.

Ici l'écliptique coupe de nouveau l'équateur, et nous descendons maintenant aux constellations australes; nous rencontrons en premier lieu la *Balance*, où nous remarquons surtout deux étoiles de seconde grandeur formant les *plateaux* de la balance.

Dans le *Scorpion* brille *Antarès*, étoile de première grandeur, nommée encore *Cœur du Scorpion*. Le *Sagittaire*, qui suit, n'est jamais visible que très-bas dans l'horizon, et se reconnaît facilement à quatre étoiles disposées en trapèze. L'écliptique atteint ici sa limite sud, et en remontant vers l'équateur elle atteint le *Capricorne*, situé au-dessous de l'*Aigle*, remarquable par une étoile de première grandeur, *Altair*, puis elle arrive au *Verseau*, dans lequel il n'y a pas d'étoiles supérieures à la troisième classe.

Les *Poissons* viennent terminer ce cercle tracé tout autour de la voûte céleste. Cette constellation ne présente pas d'étoiles remarquables; sa place se détermine le plus facilement par le *Pégase*, au sud duquel elle se trouve. Par contre, entre le *Verseau* et les *Poissons*, se montre très-bas au sud, dans le *Poisson* austral, une étoile de première grandeur, appelée *Fomalhaut*.

III. Phénomènes astronomiques particuliers.

SOLEIL ET TERRE.

51. Aux deux extrémités d'une tige se trouvent les boules *a* et *b* (fig. 41, page suivante). Nous supposons que la boule *a* constitue une masse trois

fois plus considérable que *b*. Le centre de gravité du tout doit donc être plus rapproché de la masse plus grande, et en vertu de la loi énoncée au

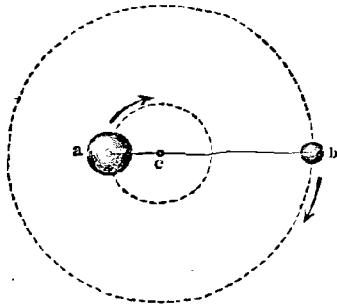


Fig. 41.

§ 14 de la *Physique*, on peut démontrer que si nous partageons la distance entre les centres des boules en quatre parties égales, le centre de gravité commun se trouvera à un quart de la distance, savoir en *c*. Alors à la distance 3 la masse *b* agit = 1, et la masse *a* à la distance 4 = 3; l'appareil se trouvera en équilibre s'il est soutenu en *c*. Si nous faisons tourner cet appareil autour de son centre de gravité *c*, les deux boules parcourent les cercles marqués par les points, et

nous voyons que la plus petite boule *b* décrit un arc de cercle autour de la plus grande *a*.

Si nous lançons bien loin en l'air des masses inégales réunies de cette manière, nous voyons qu'elles prennent un mouvement rotatoire autour de leur centre de gravité commun, la masse plus petite décrivant constamment un cercle autour de la plus grande.

Si, dans l'exemple fig. 41, la masse de la boule *a* était le décuple ou le centuple de la boule *b*, le centre de gravité commun tomberait à l'intérieur même de la grande boule. Nous verrions alors que celle-ci tourne autour d'un point situé dans son intérieur et que la petite boule décrit un cercle autour de la plus grande.

52. Le soleil et la terre sont deux masses sphériques ayant entre elles des rapports tout à fait semblables; seulement, la différence entre elles est immensément plus grande que celle que nous avons supposée dans nos exemples. Le tableau suivant va le démontrer :

	TERRE.	SOLEIL.	RAPPORT entre la TERRE ET LE SOLEIL.	
Diamètre : Lieues géographiques.	1 719 ⁽¹⁾	192 492 ⁽²⁾	1 :	112
Surface : Lieues géogr. carrées.	9 282 060	108 000 millions.	1 :	12 577
Volume : Lieues cubes.....	2 659 510 190	4 078 500 000 millions.	1 :	1 410 000
Distance moyenne en	lieues géograph..	—	—	—
	rayons de la terre.	24 000	—	—
(1)	4 200 myriamètres.			
(2)	144 200 »			
(3)	43 500 000 »			

Pour faciliter l'intelligence de ces rapports de dimensions, nous ajoutons, en fig. 42, un dessin du soleil et de la terre dans leur grandeur

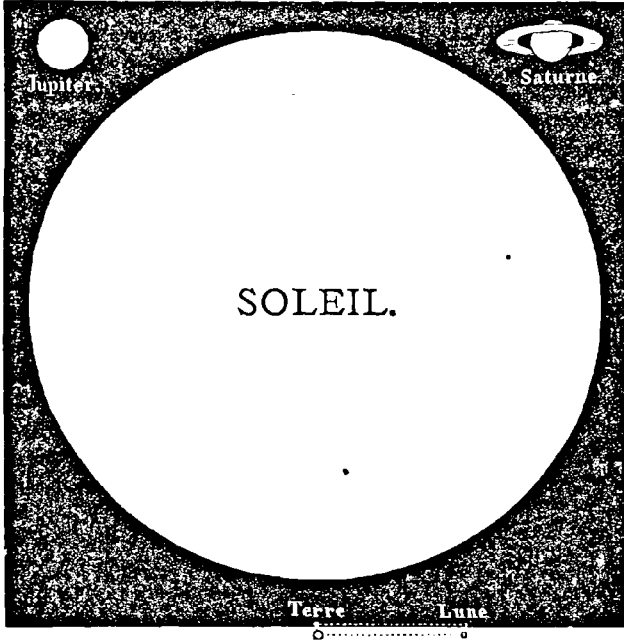


Fig. 42.

relative. La figure contient encore la lune, ainsi que sa distance de la terre, et les deux plus grandes planètes, Jupiter et Saturne. La distance relative entre la terre et le soleil s'obtient quand on place le petit point blanc, qui représente la terre, à environ quinze mètres du grand cercle, représentant le soleil.

Supposons maintenant ces deux corps célestes réunis par une corde qu'on par une tige: leur centre de gravité commun tombera à l'intérieur du soleil et encore très-près de son centre. Lancés dans l'espace universel, ils se mettront à tourner comme les boules de notre expérience de tantôt, c'est-à-dire que le soleil tournera sur lui-même et la terre autour du soleil.

Ce mouvement a lieu en réalité; néanmoins le soleil et la terre sont maintenus dans leur rapport respectif non par un lien matériel, mais par un concours particulier de forces.

La force qui unit le soleil et la terre est cette attraction mutuelle agissant entre tous les corps, et que nous avons appris à connaître en physique sous le nom de *pesanteur* ou de *gravitation*.

Si, en raison de cette force, le soleil et la terre ne se rapprochent pas continuellement l'un de l'autre, cela dépend de l'action simultanée d'une seconde force qui, agissant perpendiculairement sur la direction de l'attraction, donne lieu au mouvement composé de la terre. (Voir *Physique*, § 67.)

53. Cet immense corps solaire lui-même n'est pas non plus immobile. Nous en avons la preuve par des *taches obscures* que l'on aperçoit quelquefois sur la surface brillante du soleil, à peu près comme le montre la

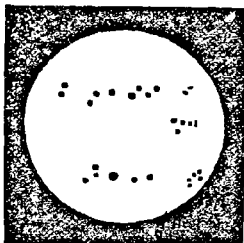


Fig. 43.

fig. 43. L'observation attentive de ces taches a démontré qu'elles ne restent pas toujours à la même place; on a vu que ces taches apparaissent à un bord du soleil, et parcourent ensuite dans la même direction toute sa surface jusqu'au bord opposé, où elles disparaissent pour revenir au bout d'un certain temps à la place de leur première apparition. Cela nous prouve que le soleil tourne autour d'un axe : le temps nécessaire à ce mouvement est de 25 $\frac{1}{2}$ jours, tandis que la

rotation de la terre sur son axe est terminée en 24 heures.

Ce n'est pas du tout une tâche facile que d'expliquer d'où proviennent la lumière brillante et la chaleur vivifiante que le soleil fait constamment rayonner sur nous. La supposition que le soleil est un immense corps en ignition, dans le sens ordinaire de l'opération chimique que nous nommons une combustion, offre très-peu d'apparence de vérité. Dans tout corps en ignition, le rayonnement détermine une diminution de lumière et de chaleur, qui, malgré la grandeur extraordinaire du soleil, aurait dû se faire sentir dans la suite des temps.

Contrairement à cela, le soleil se présente comme une source d'une quantité invariable de chaleur et de lumière.

L'hypothèse admise par le plus grand nombre d'explorateurs s'accordait jusqu'ici à regarder le soleil lui-même comme un corps obscur, mais entouré d'une atmosphère particulière, laquelle, par l'immense rapidité de rotation de ce corps, serait mise en oscillations qui se traduiraient par de la lumière et de la chaleur. Pour des raisons qui nous sont inconnues, il se produit parfois dans cette enveloppe brillante du soleil des vides à travers lesquels nous apercevons des places de l'astre obscur lui-même, ce que nous nommons des *taches du soleil*.

De nombreux phénomènes connus prouvent à l'évidence que le frottement peut devenir la source de chaleur et de lumière. Le briquet pneumatique en fournit un exemple.

Cependant des observations sur le spectre solaire, qui se rattachent à la découverte récente de l'*analyse spectrale*, tendraient à faire supposer que le corps solaire lui-même est un grand noyau lumineux entouré d'une atmosphère de flammes. On a même des raisons de croire que dans cette atmosphère enflammée du soleil, il se trouve plusieurs substances, qui se rencontrent sur terre tels que, notamment, le *potassium* et le *sodium*.

☛ 54. L'*orbite*, ou le chemin que la terre parcourt autour du soleil, est une *ellipse* (fig 44) d'une excentricité très-petite, de sorte qu'elle se

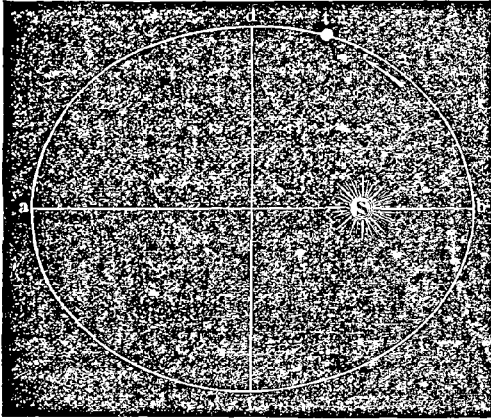


Fig. 44.

rapproche du cercle. Le grand axe ou la *grande ligne d'apsides a b* comprend 41 millions de lieues géographiques (50 539 626 myriamètres). Dans l'un des foyers se trouve le soleil, et sa distance du centre *c* de l'ellipse est ce que l'on nomme l'*excentricité* de l'orbite de la terre. La terre n'atteint dans son parcours qu'une fois son plus grand éloignement du soleil, c'est lorsqu'elle se trouve à une extrémité de l'axe, où elle en est distante de 21 050 055 lieues géographiques (45 526 177 myriamètres), ce qui a lieu le 2 juillet.

Ce point, où elle se trouve à sa plus grande distance du soleil, se nomme l'*aphélie* de la terre. Au point opposé du grand axe, la terre est le plus rapprochée du soleil : on le nomme le *périhélie* ; la terre l'atteint le 1^{er} janvier et ne se trouve alors éloignée du soleil que de 20 334 825 lieues

(15 013 449 myriamètres). La moyenne de ces deux distances extrêmes est de 20 700 000 lieues (15 269 813 myriamètres). Pour parcourir ce trajet, il faudrait à un boulet de canon, avec une vitesse de 250 mètres à la seconde, l'espace de temps de douze années.

Dans la plupart des cas, on peut faire abstraction de la forme elliptique de l'orbite terrestre, et la considérer comme un cercle dont le rayon est égal à 20 millions de lieues (15 millions de myriamètres). La circonférence de cette orbite mesure environ 127 millions de lieues, et est parcourue par la terre en 365 jours et quelques heures, de sorte qu'elle fait 4 lieues en une seconde. La vitesse du mouvement de la terre autour du soleil est donc beaucoup plus considérable que sa vitesse de rotation à un point quelconque de l'équateur, car celle-ci est d'environ 460 mètres à la seconde. Si nous pouvions faire un voyage autour de la terre, dont le contour est de 5 400 lieues géographiques (40 067 375 mètres), avec la première des deux vitesses, nous exécuterions ce trajet en 22 $\frac{1}{2}$ minutes.

Toutefois, la vitesse que nous venons d'attribuer à la terre dans son mouvement autour du soleil n'est qu'une vitesse moyenne. La forme elliptique de l'orbite influe essentiellement sur le mouvement de la terre, car elle acquiert plus de vitesse à mesure qu'elle approche de son périhélie, et se ralentit alors jusqu'à ce qu'elle atteigne son aphélie. Il en résulte, comme nous le démontrerons plus tard, une différence dans la durée du semestre d'été et du semestre d'hiver : le premier est de 7 $\frac{3}{4}$ jours plus long que le dernier.

55. Position de l'axe de la terre par rapport à son orbite. Figurons-nous une surface plane passant à travers le centre du soleil et prolongée dans toutes les directions, et sur cette surface plane la terre en mouvement. On peut représenter la chose en prenant un morceau de carton de forme circulaire, et en faisant au centre une entaille pour y introduire à moitié une petite boule : celle-ci représente le soleil ; la surface du carton est l'orbite terrestre qui est représentée, par un cercle tracé sur le carton, et dont le centre est le soleil. La terre elle-même peut être représentée par une boule plus petite, à laquelle on prépare, à différentes places de l'orbite, des entailles circulaires pour pouvoir l'y placer.

Il est généralement difficile, quelquefois même impossible, d'expliquer les phénomènes que nous avons maintenant à décrire par des dessins, car ceux-ci sont limités à la surface plane, et beaucoup de phénomènes de mouvement ne peuvent être dessinés que d'une manière abrégée, peu compréhensible pour ceux qui ne sont pas familiarisés avec ce genre de figures.

Si, sur une petite boule qui représente la terre, nous traçons les cercles que l'on a l'habitude de marquer sur le globe terrestre, savoir : l'équateur, les tropiques, les cercles polaires et les pôles eux-mêmes, il est facile de constater que nous pouvons donner à cette boule différentes positions par rapport au plan de l'orbite. En premier lieu, nous pouvons la placer de telle sorte que les deux pôles et par conséquent l'axe terrestre soient situés dans le plan même ; ensuite, nous pouvons placer l'axe terrestre perpendiculairement à ce plan ; et, enfin, nous pouvons lui donner une position oblique, de manière que l'axe forme avec le plan de l'orbite un angle aigu.

Nous allons démontrer que ces trois différentes positions doivent exercer une influence essentielle sur les phénomènes qui se passent à la surface de la terre. Ici encore nous pouvons venir en aide à l'intelligence, en plaçant au milieu d'une table ronde une lumière, une lampe par exemple, qui représente le soleil. A la hauteur de la flamme, sur le bord de la table, nous plaçons un petit globe, à l'axe duquel on peut donner toutes les positions désirables. Au lieu d'un globe, on peut se servir de petites boules en bois, dont l'axe est perforé et tourne autour d'une aiguille à tricoter. L'aiguille se fixe à hauteur de la flamme dans le bouchon d'une bouteille, de telle manière qu'elle soit ou perpendiculaire, ou oblique, ou parallèle au plan de la table. Sur la boule elle-même on a tracé l'équateur et les cercles parallèles voulus. Enfin, on partage la circonférence de la table en quatre parties égales, en traçant deux diamètres qui se coupent à angle droit. A l'aide de cet appareil fort simple, on peut plus facilement qu'à l'aide de dessins se rendre compte de ce que nous allons décrire.

56. Supposons en premier lieu que l'axe de la terre soit *perpendiculaire à l'orbite*, comme *a* (fig. 45).

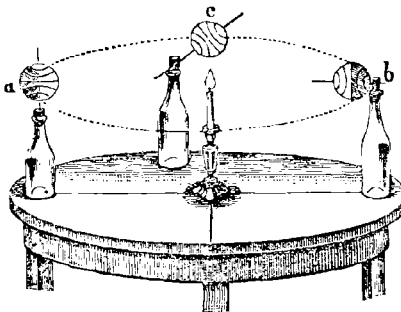


Fig. 45.

Dans ce cas, il faudrait que pendant toute l'année et en chaque endroit de la terre la nuit et le jour eussent une durée égale. Les rayons du soleil, tombant perpendiculairement sur l'équateur, brûleraient toute la zone située dans son voisinage et la rendraient inhabitable. Plus heureuses seraient les contrées

situées dans les cercles parallèles un peu éloignés de l'équateur. Recevant les rayons solaires obliquement, ils jouiraient pendant toute l'année d'une température douce et printanière. Mais, précisément par cette raison,

les habitants de ces zones seraient privés du charme qu'offre le renouvellement des saisons, et une grande quantité de plantes ne pourraient, sans doute, pas bien se développer. Un sort extrêmement malheureux atteindrait les contrées situées dans les cercles plus rapprochés des pôles; car la lumière solaire y arriverait si obliquement, ou bien y passerait si incomplètement, qu'il règnerait un hiver éternel là où aujourd'hui des millions d'hommes vivent heureux. Par conséquent, si l'axe terrestre avait une position verticale par rapport à son orbite, la plus grande partie de la surface de la terre serait inhabitable.

Des phénomènes encore plus remarquables se présentent si nous plaçons l'axe terrestre dans l'orbite (fig. 45) *b*, et cela de manière que les pôles conservent toujours la même direction. Dans ce cas, une fois par an tout l'hémisphère nord de la terre serait éclairé, la lumière tomberait verticalement sur le pôle nord et le jour durerait 24 heures. Du côté opposé, en *a*, la même chose arriverait pour l'hémisphère sud, et de cette manière, il y aurait constamment sur les différents points de la terre une brusque alternative de chaleur brûlante et de froid glacial. La durée du jour serait, pour un point de la terre, presque d'une demi-année, et pour le point opposé, la nuit aurait une égale durée (*); bref, ces changements brusques de lumière et de chaleur seraient plus préjudiciables à l'habitation de la terre que les inconvénients désignés plus haut.

Mais comme il ne règne sur la surface de la terre ni cette uniformité dans la durée du jour et du climat, telle qu'elle résulterait d'une position verticale de l'axe terrestre, ni ce changement total que provoquerait la position horizontale de cet axe, celui-ci doit nécessairement être incliné sur son orbite, il doit la couper en un angle aigu (V. *c*, fig. 45).

C'est ce qui a effectivement lieu, et qui explique avec facilité une série de phénomènes aussi importants que connus.

57. Considérons maintenant la terre dans ses quatre positions principales vis-à-vis du soleil. Dans la fig. 46, *S* est le soleil, *T* la terre, dont l'axe *s N* reste constamment parallèle à lui-même. Évidemment, il n'y a jamais que la moitié de la terre tournée vers le soleil qui est éclairée et échauffée, et un cercle entourant toute la terre marque la limite entre la moitié claire et la moitié obscure de notre globe. *T* représente la terre dans la position qu'elle a le 21 mars, où les rayons solaires tombent ver-

(*) En Belgique, le soleil ne se coucherait pas durant 100 jours; mais, par contre, il y aurait une nuit de 100 jours. Aux deux pôles il y aurait, comme maintenant, un jour de 6 mois et une nuit de 6 mois, mais avec cette différence qu'une fois par année leurs habitants auraient le soleil immobile au zénith pendant 24 heures. À l'équateur, la durée du jour serait, encore comme maintenant, égale à celle de la nuit, mais il y aurait des hivers aussi rigoureux qu'aux pôles aujourd'hui.

ticalement sur l'équateur. Dans ce cas, le cercle de la limite d'éclairage passe par les deux pôles s et N , par conséquent, la moitié de l'hémisphère

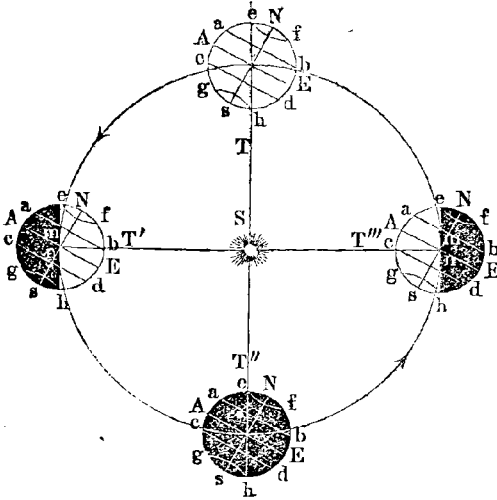


Fig. 46.

nord et la moitié de l'hémisphère sud ont le jour en même temps, et tandis que la terre tourne autour de son axe sN , chaque point de sa surface décrit la moitié de son cercle dans le côté du jour et la moitié dans le côté de la nuit. Dans cette position, le jour et la nuit ont, sur toute la terre, une égale durée; on nomme pour cette raison cette époque *l'équinoxe du printemps*. La même chose arrive pour *l'équinoxe d'automne*, qui a lieu le

25 septembre : elle est représentée dans le dessin par la position T'' , où le côté non éclairé est tourné vers nous.

Mais lorsque la terre a parcouru le quart de son orbite, elle arrive, le 21 juin, dans la position T' , que l'on nomme *le solstice d'été*. On voit ici que le pôle nord, ainsi qu'une partie considérable de la surface qui l'entoure, reste éclairé pendant toute la rotation journalière de la terre. Pour celui qui habite endéans le *cercle polaire e f*, qui s'étend jusqu'à 23 $\frac{1}{2}$ degrés de distance du pôle boréal, le soleil ne se couche pas ce jour-là : le jour dure 24 heures. La partie de la terre comprise dans le cercle polaire se nomme la *zone polaire du Nord*.

Précisément l'opposé a lieu en même temps dans la zone polaire du Sud, où, le 21 juin, le soleil n'apparaît pas du tout et où, par conséquent, la nuit dure 24 heures.

Le même jour, à l'équateur, le jour et la nuit sont égaux, car la partie éclairée nE de ce cercle est égale à la partie non éclairée nA . Pour tous les points situés au nord de l'équateur, le jour est plus long que la nuit, car évidemment la partie éclairée mb du cercle parallèle ab est plus grande que la partie non éclairée ma ; par conséquent, un habitant de cette contrée reste pendant la rotation journalière de la terre plus longtemps dans le jour que dans l'obscurité. Tous les points situés au nord de

l'équateur ont en conséquence, le 21 juin, leur plus long jour et leur plus courte nuit.

Il est facile de comprendre qu'au sud de l'équateur, les choses sont tout opposées et qu'il y règne alors la plus longue nuit.

Le cercle parallèle *a b*, sur lequel, le 21 juin, les rayons solaires tombent verticalement, se nomme le *tropique du Cancer*.

Quand la terre continue à avancer dans son orbite, la longueur du jour diminue graduellement, jusqu'à ce qu'au 23 septembre elle arrive à l'équinoxe d'automne *T'*, où le jour et la nuit sont égaux. En avançant plus loin, le jour diminue de plus en plus, jusqu'à ce que, le 23 décembre, la terre ait atteint le solstice d'hiver *T''*, où les rayons solaires tombent verticalement sur le *tropique du Capricorne c d*. Il saute aux yeux que pour nous, habitants de l'hémisphère nord, les arcs de jour, par exemple, *m a*, sont plus petits que les arcs de nuit *m b*. Nous avons ce jour-là notre jour le plus court, tandis que nos antipodes dans l'hémisphère sud de la terre jouissent de leur jour le plus long.

Donc, tandis qu'à l'équateur la durée du jour et de la nuit resté égale, plus on s'en éloigne, plus les différences à cet égard sont marquées, comme le montre le tableau suivant :

Hauteur polaire ou latitude géographique.	Durée du plus long jour ou de la plus longue nuit.
0	12 heures.
16° 44'	13 »
30° 48'	14 »
49°	16 »
63° 23'	20 »
66° 32'	24 »
67° 23'	1 mois.
75° 59'	3 »
90°	6 »

Quand la terre continue sa route, à partir du solstice d'hiver, les jours allongent de nouveau insensiblement jusqu'à l'équinoxe du printemps, d'où nous sommes partis pour suivre la terre dans une rotation annuelle complète.

Nous trouvons de cette manière, dans la position oblique de l'axe de la terre par rapport à l'orbite terrestre, l'explication de ce mouvement apparent du soleil dans le cours de l'année, que nous avons décrit au § 35, et par lequel il coupe deux fois par an l'équateur, atteint une fois, au nord et au sud, sa position la plus élevée et la plus basse, pour retourner ensuite vers son point de départ.

Cet éloignement le plus grand du soleil au nord et au sud est indiqué par les *tropiques*, cercles parallèles distants de $25^{\circ} \frac{1}{2}$ de l'équateur. Ce nom leur a été donné parce que le soleil, arrivé là, semble revenir sur lui-même et se rapprocher de l'équateur.

58. Pour les habitants de la zone située entre les deux tropiques, et qui est appelée *zone torride* ou *tropicque*, le soleil pendant toute l'année ne modifie jamais assez sa position pour que ses rayons cessent de tomber verticalement ou à peu près. C'est pourquoi il règne dans cette partie de la terre la chaleur la plus considérable, et les grandes différences de température qui constituent les saisons ne s'y présentent pas. Le règne animal et végétal et même les hommes prennent, sous l'influence de cette abondance de lumière et de chaleur, des formes et des propriétés particulières.

Entre les tropiques et les cercles polaires se trouvent de chaque côté les deux *zones tempérées*. Le soleil n'étant jamais au zénith pour ces régions, sa lumière n'y tombe jamais verticalement : il y a par conséquent une grande partie de rayons caloriques qui passent à côté (V. *Physique*, § 149) et la chaleur n'atteint jamais le plus haut degré.

La superficie totale de la zone torride comprend 5,7 millions de milles géographiques carrés, celle des deux zones tempérées réunies 4,8 millions, et les deux zones glaciales 0,8 million de milles géographiques.

Cependant, la position du soleil, par rapport à notre zone tempérée du Nord, *a b e f* (fig. 46), varie beaucoup dans le courant de l'année. Pendant le solstice d'été (en *T*), les rayons du soleil tombent beaucoup moins obliquement qu'à l'époque du solstice d'hiver, où le soleil, descendu en dessous de l'équateur, envoie ses rayons si obliquement que la plupart passent à côté de nous. Et en outre, quelle différence dans la durée du jour ! Pendant le solstice d'été, non-seulement les rayons tombent plus perpendiculairement, mais ils frappent chaque jour pendant un temps beaucoup plus long que pendant le solstice d'hiver. De là nous viennent nos grandes variations de température dans le courant de l'année ; de là ce changement de saisons ; de là ce passage d'un hiver rigoureux à un doux printemps, suivi lui-même des chaleurs mûrissantes de l'été, jusqu'à ce que l'automne, avec sa lumière plus mate et ses jours plus frais, ouvre de nouveau la porte à l'hiver.

Le bonheur et le charme ineffables que ce changement de saisons procure à l'espèce humaine, l'enchantement infini qui s'y lie, se prouvent à l'évidence par le fait que, depuis les temps les plus anciens jusqu'à nos jours, peintres et poètes ont rivalisé d'ardeur pour retracer dans des images et des chants nombreux le printemps avec ses aspirations languoureuses, l'hiver avec son silence morne et sa solitude, l'été aux moissons dorées, l'automne paré de sa corne d'abondance.

59. Si l'orbite de la terre était réellement un cercle, comme à la fig. 46, les périodes entre les équinoxes et les solstices devraient être parfaitement égales, et le semestre d'été, depuis l'équinoxe du printemps jusqu'à celui d'automne, devrait avoir la même durée que le semestre d'hiver.

Mais il n'en est pas ainsi, car nous savons que l'orbite terrestre est une ellipse à l'un des foyers de laquelle se trouve le soleil.

Si T et T'' (fig. 47) sont les points équinoxiaux, la partie de l'orbite du semestre d'hiver $T T'' T''$ est plus petite que celle du semestre d'été $T T' T''$. Indépendamment de cela, durant le semestre d'hiver, la vitesse de rotation de la terre est plus grande, car, pendant le solstice d'hiver elle est le plus rapprochée du soleil, tandis que son plus grand éloignement de celui-ci correspond au solstice d'été. Grâce au concours de ces deux circonstances, il arrive que le semestre d'été est de 186 jours et 12 heures,

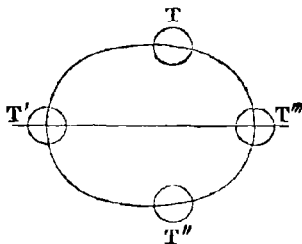


Fig. 47.

tandis que le semestre d'hiver n'est que de 178 jours et 18 heures, que le premier est par conséquent plus long de $7 \frac{3}{4}$ jours.

Bien que la plus grande proximité du soleil arrive en plein hiver et qu'alors nous nous trouvions de 695 230 milles géographiques plus rapprochés du soleil qu'à l'époque du solstice d'été, cela n'a pourtant aucune influence sur la température de la surface terrestre ; car cette dernière dépend, comme nous l'avons démontré plus haut, de la plus ou moins grande obliquité des rayons solaires et de la durée du jour.

60. Observons, un soir, le coucher du soleil, et, à la place où il aura disparu sous l'horizon, tenons note de l'étoile ou du groupe d'étoiles qui ne tarderont pas à y apparaître. Le lendemain nous verrons encore cette étoile ou constellation à la même place, tout près de l'endroit où le soleil s'est couché. Mais si nous poursuivons nos observations plusieurs jours de suite, nous voyons que le soleil se rapproche de plus en plus de cette étoile, de sorte que celle-ci se couchera bientôt en même temps que le soleil et ne sera naturellement plus visible après. Si nous continuons notre observation sur une autre étoile, nous constaterons un fait identique. Au ciel du matin nous voyons se produire le même phénomène. Une étoile qui se lève le plus près possible du soleil et peu de temps avant lui, se lèvera au bout de plusieurs jours sensiblement plus tôt et à une plus grande distance sur l'horizon, parce que le soleil s'en est éloigné. Pour cette raison le soleil paraît progresser au firmament de l'est à l'ouest, et nous pouvons désigner son chemin, si nous tenons note des constellations où nous le remarquons successivement.

Ces constellations forment au ciel étoilé une zone nommée *zodiaque*, limitée par des cercles distants de 7 à 8° de l'écliptique et parallèles avec celle-ci. Tant que le soleil se trouve dans le voisinage d'une constellation, on se sert de l'expression « le soleil est dans telle constellation. » Les anciens divisaient le zodiaque en 12 parties égales par douze constellations placées à des distances égales, et dont nous avons déjà indiqué au § 50 les noms et les signes. Il faut au soleil, pour progresser d'une constellation du zodiaque à la suivante, un espace de temps de 28 à 30 jours, espace que l'on nomme un *mois*. Mais lorsque le soleil s'est avancé pendant douze mois d'une constellation à l'autre, il revient à la même constellation où on l'a observé pour la première fois, et ce moment est l'accomplissement de l'année. De cette manière, le soleil se trouve pendant chaque mois dans une constellation différente.

Il y a environ 3000 ans, époque où le zodiaque était déjà admis, le soleil se trouvait à l'entrée du printemps, le 21 mars, dans la constellation du *Bélier*, et les mois avec les constellations correspondantes se succédaient de la manière suivante :

Mars.....	Bélier.	Septembre.....	Balance.
Avril.....	Taureau.	Octobre.....	Scorpion.
Mai.....	Gémeaux.	Novembre.....	Sagittaire.
Juin.....	Cancer.	Décembre.....	Capricorne.
Juillet.....	Lion.	Janvier.....	Verseau.
Août.....	Vierge.	Février.....	Poissons.

Par suite d'une rétrogradation lente des points équinoxiaux de l'écliptique et de l'équateur (nommée précession), ce rapport s'est modifié. Le soleil au commencement du printemps, ainsi au mois de mars, ne se trouve plus dans la constellation du *Bélier*, mais dans celle des *Poissons*, et ainsi de suite, pour chaque mois suivant, le soleil se trouve dans la constellation qui précède. Cependant, pour ne pas occasionner de confusion dans les indications anciennes, on a laissé sur les globes, les planisphères, etc., les signes des douze constellations à leur ancienne place, et on fait maintenant une distinction entre les signes et les constellations elles-mêmes. Les premiers ne sont autre chose que douze marques qui divisent l'écliptique, les dernières sont les constellations réelles. Si, par exemple, il est dit quelque part, « le soleil est dans le signe du *Cancer*, » je cherche sur le globe ou sur la carte le signe ☊, et je trouve là la constellation des *Gémeaux* (V. fig. 48).

Comme il a déjà été dit, l'écliptique coupe l'équateur sous un angle de 23° 1/2, à deux points précisément opposés du cercle, distants l'un de l'autre de 180°. Ce sont ces points que nous avons fait connaître comme

les points équinoxiaux, et le soleil se trouve à l'époque de l'équinoxe de printemps, ainsi le 21 mars, dans la constellation des *Poissons* (par conséquent dans le signe du *Bélier*) et à l'équinoxe d'automne, le 23 septembre, dans la constellation de la *Vierge* (dans le signe de la *Balance*).

61. Nous devons encore une fois ramener ce mouvement apparent du soleil à sa véritable cause, savoir au mouvement de la terre.

Prenons de nouveau, pour nous aider, notre table ronde avec une lumière placée au milieu et qui représente le soleil. Plaçons la table au centre d'une chambre ronde dont la muraille intérieure a été divisée en 12 parties égales, désignées par les signes de l'écliptique tracés à la même hauteur que la lumière et à égale distance l'un de l'autre. Dans la fig. 48, le cercle intérieur représente la table, le cercle extérieur le

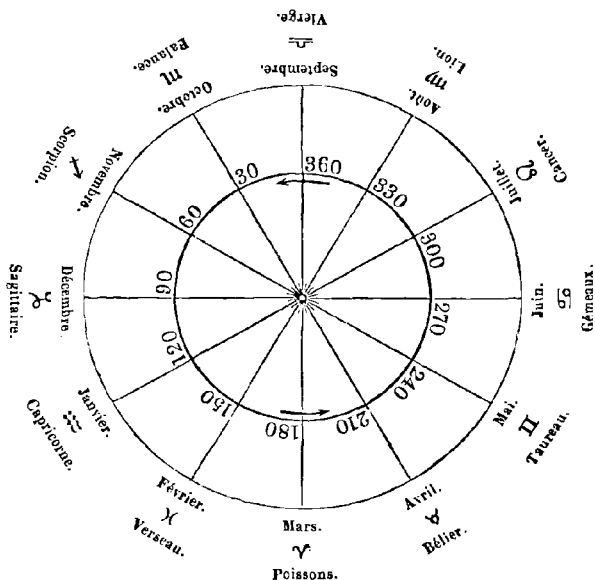


Fig. 48-49.

contour de la muraille. L'œil de l'observateur est placé de niveau avec la lumière, à la place de la flèche supérieure, où nous nous figurons que la terre commence, le 21 mars, sa révolution autour du soleil dans la direction de la flèche. A ce moment, le soleil se présente à l'œil dans le signe du *Bélier*. Si, pour faire le tour de la table, qui a été divisée en 12 parties, nous avançons dans la direction de la flèche d'une des douze parties,

nous voyons que le soleil est entré dans le signe du Taureau ; on dirait qu'il a décrit, dans la direction opposée à la nôtre, un arc de 50° . De cette manière, nous continuons notre voyage autour du soleil, et nous le voyons entrer d'un signe dans un autre, jusqu'à ce qu'il se montre de nouveau dans celui du Bélier : l'année est alors accomplie.

Avant que l'on se fût convaincu de ce mouvement de la terre autour du soleil, on se figurait la terre au milieu de l'orbite de cet astre et par conséquent à la place du soleil (fig. 49). Les phénomènes sont effectivement tout à fait les mêmes, si nous nous plaçons au milieu de la table et si nous promenons tout autour une lumière, représentant le soleil. Nous voyons passer la lumière par tous les signes.

L'angle de $25^\circ \frac{1}{2}$ que l'écliptique forme avec l'équateur dépend uniquement de l'inclinaison de l'axe de la terre sur son orbite.

Dans la fig. 50, nous voyons le soleil *C* et la terre avec son pôle nord vers le soleil, comme cela a lieu le 21 juin ; nous rappelons seulement que l'axe de la terre reste toujours parallèle avec



Fig. 50.

lui-même. Si l'axe de la terre était, comme *ns*, perpendiculaire au plan de l'orbite, ainsi perpendiculaire sur *a q*, l'écliptique coïnciderait avec le plan de l'équateur *a q*. Mais la véritable position de l'axe par rapport au plan de l'orbite est inclinée comme *NS*, et dans ce cas c'est *A Q* qui est l'équateur, et son plan, comme on le voit, coupe l'écliptique sous le même angle que l'axe figuré perpendiculaire *ns* forme avec l'axe incliné *NS*.

62. Équation du temps. La terre tourne avec une uniformité parfaite autour de son axe en 25 heures, 56 minutes et 4 secondes. Cet espace de temps se nomme un *jour sidéral* ; on le partage, comme le jour solaire, en 24 parties égales, que l'on nomme heures *sidérales*. C'est de cette mesure de temps que se servent les astronomes, parce qu'ils peuvent la vérifier de la manière la plus facile et la plus exacte, et qu'elle leur sert à déterminer très-facilement la place des astres.

Le temps, au contraire, qui s'écoule entre deux passages successifs du soleil au méridien d'un endroit, se nomme un *jour solaire*. Celui-ci est d'environ 4 minutes plus long que le jour sidéral, parce que le soleil a progressé d'environ un degré vers l'est. Il en est de cela comme de l'aiguille à minute d'une montre, qui, lorsqu'elle se trouve sur l'aiguille à heure, doit faire un peu plus d'un tour pour y arriver de nouveau, car celle-ci a elle-même avancé un peu dans la même direction.

Le jour solaire a de tout temps été divisé en 24 heures. Un cadran solaire bien construit et bien placé indique toujours ces heures avec une

grande exactitude. Nous voyons dans la fig. 51 un cadran solaire à plan vertical, et dans la fig. 52, un cadran solaire horizontal. Dans le premier, la

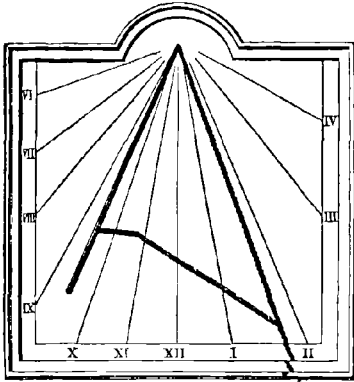


Fig. 51.

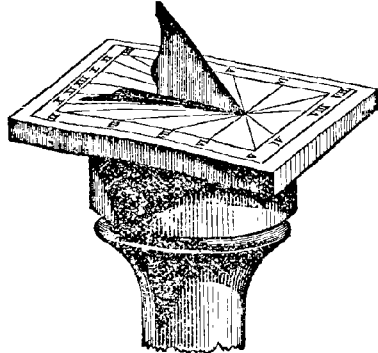


Fig. 52.

tige qui projette l'ombre à la direction de l'axe terrestre; dans le second, l'arête rectiligne de la plaque métallique verticale a la même direction.

Mais les jours solaires ne sont pas d'égale durée, car celle-ci dépend, comme nous l'avons vu, du mouvement inégal de la terre dans son orbite elliptique, d'où résulte le mouvement apparent du soleil; ensuite, le soleil ne se trouve pas dans le plan de l'équateur terrestre, mais dans le plan de l'écliptique, qui forme avec le premier un angle de $23\frac{1}{2}$ degrés.

Comme une bonne montre ou horloge à roues doit posséder un mouvement parfaitement régulier, elle ne peut pas indiquer le temps irrégulier du jour solaire. C'est pourquoi on a imaginé un jour moyen, en se figurant, à côté du véritable soleil, un autre soleil, qui se meut dans le plan de l'équateur terrestre avec une vitesse uniforme et qui passe toujours simultanément avec le véritable soleil par le point équinoxial du printemps.

Ce soleil fictif est tantôt en avance, tantôt en retard sur le véritable, et plusieurs fois ils passent ensemble dans le méridien. Une montre qui indique toujours midi lorsque ce soleil fictif passe par le méridien, indique le temps moyen, appelé ainsi pour le distinguer du temps réel qu'indique le cadran solaire. La différence entre le temps moyen et le temps vrai se nomme l'*équation du temps*. Le tableau ci-dessous l'indique à la minute pour tous les différents mois. Si l'on voulait régler sa montre d'après le cadran solaire, il faudrait ajouter ou retrancher de l'heure que celle-ci marque le nombre de minutes que le tableau indique.

Si, par exemple, au 26 mars, le cadran solaire marquait 10 heures 17 minutes, la montre doit marquer 10 heures 17 minutes \mp 6 minutes,

soit 10 heures 25 minutes. Au 7 septembre, si le cadran solaire marque 8 heures 55 minutes, la montre à roues doit marquer 8 heures 55 — 2 minutes, soit 8 heures 53 minutes.

Un regard jeté sur le tableau nous montre que quatre fois par an, savoir au 15 avril, 15 juin, 1^{er} septembre et 25 décembre, les deux temps concordent, c'est-à-dire que la montre indique le même temps que le cadran solaire.

Au 15 février le temps moyen est en avance sur le temps vrai de 15 minutes; au 5 novembre, au contraire, ce dernier est en avance de 16 minutes sur le temps moyen. Cette circonstance nous explique en même temps la longueur inégale des matinées et des après-midi, qui se remarque le plus visiblement dans les mois de février, octobre et novembre. Le vrai midi, c'est-à-dire le moment où le cadran solaire marque midi, tombe toujours au milieu entre le lever et le coucher du soleil.

On peut voir sur le tableau que, le 15 février, le midi moyen, autrement dit le moment où la montre à roues marque 12 heures, arrive un quart d'heure plus tôt que le vrai midi; c'est pourquoi le matin est raccourci d'un quart d'heure; l'après-midi est allongée d'autant, ce qui fait une différence de longueur d'une demi-heure en sa faveur. On trouve de même que, le 5 novembre, l'après-midi est de 52 minutes plus courte que la matinée.

ÉQUATION DU TEMPS.

Mois.	Dates.	Minutes.	Mois.	Dates.	Minutes.	Mois.	Dates.	Minutes.	Mois.	Dates.	Minutes.
Janv.	1	+ 4	Avril	1	+ 4	Août	21	+ 5	Nov.	17	- 13
	4	+ 5		5	+ 3		25	+ 2		21	- 14
	6	+ 6		8	+ 2		29	+ 1		25	- 15
	8	+ 7		12	+ 1	Sept.	1	0		28	- 12
	11	+ 8		15	0		4	- 1	Déc.	1	- 11
	15	+ 9		20	- 1		7	- 2		3	- 10
	16	+ 10		25	- 2		10	- 3		6	- 9
	19	+ 11	Mai	11	- 3		13	- 4		8	- 8
	25	+ 12		15	- 4		16	- 5		10	- 7
	27	+ 15		29	- 5		19	- 6		12	- 6
Févr.	2	+ 14	Juin	3	- 2		22	- 7		15	- 5
	15	+ 14 ^{1/2} _a		10	- 1		25	- 8		17	- 4
	20	+ 14		15	0		27	- 9		19	- 3
	27	+ 15		20	+ 1		30	- 10		21	- 2
Mars	4	+ 12		24	+ 2	Oct.	4	- 11		25	- 1
	8	+ 11		29	+ 3		7	- 12		25	0
	12	+ 10	Juill.	4	+ 4		11	- 15		27	+ 1
	16	+ 9		11	+ 3		15	- 14		29	+ 2
	19	+ 8		20	+ 6		20	- 15		31	+ 3
	25	+ 7		29	+ 3		28	- 16			
	26	+ 6	Août	2	+ 6	Nov.	3	- 16 ^{1/2} ₂			
	29	+ 5		11	+ 5		9	- 16			
				17	+ 4						

63. Terre et lune. Le même empire qu'exerce le soleil sur la terre est exercé par celle-ci sur la lune, qui lui est attachée par le lien invisible de l'attraction, de telle manière que, satellite de la terre, tout en tournant autour de celle-ci, la lune doit parcourir avec elle son cercle autour du soleil.

Si nous comparons ces deux corps célestes entre eux, nous voyons que le diamètre de la lune est de 468 lieues géographiques (347,6 myriamètres), ainsi 3,67 plus petit que celui de la terre. En surface, la terre dépasse celle de la lune de 14 fois, et en volume de 50 fois. Dans la fig. 53, nous cherchons à représenter ces rapports de grandeur entre la terre et la lune. Pour un œil placé dans la lune, la terre devrait donc

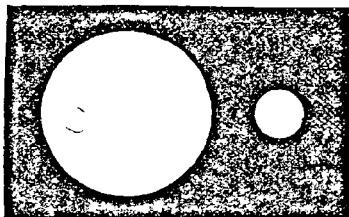


Fig. 53.

paraître 3,67 fois plus grande que ne nous paraît à nous la lune, dont le diamètre apparent est de $31' 46''$.

La distance de la lune au centre de la terre est égale à 51 480 lieues géographiques (38 262 myriamètres) ou 60 rayons terrestres; cette distance, comparée à celle du soleil et surtout à celle des étoiles fixes, est tout à fait insignifiante.

En effet, la lune est le corps céleste le plus rapproché de nous, et ce n'est qu'à cette circonstance qu'elle doit de nous paraître plus grande que toutes les étoiles, et à peu près de même grandeur que le soleil.

Mais en même temps cette proximité nous permet de jeter un regard sur la surface de cet astre, qui, vu au moyen d'un télescope grossissant ou rapprochant de 500 fois, offre un aspect aussi surprenant que splendide. Car si à l'œil nu nous voyons déjà sur la lune des taches et des groupes dont l'imagination et la légende font tantôt un homme, tantôt toute autre forme, le télescope montre la surface de la lune d'une manière plus précise; aussi possède-t-on déjà sur cette surface des notions assez fondées.

Tandis que dans la demi-lune, le bord qui se trouve en pleine lumière solaire, est uniformément éclairé et présente une forme nettement arrondie, le bord opposé paraît pour ainsi dire dentelé ou déchiré. Cela se voit le plus clairement quand on examine la lune au télescope à l'époque où elle a encore la forme d'un croissant, comme elle est représentée fig. 54. Que certains points éclairés dans la lune ne sont autre chose que des montagnes, ressort indubitablement des ombres qui se forment derrière elles, à l'opposé du soleil, et qui deviennent d'autant plus courtes que la lune entre en plein éclairage. En mesurant ces ombres, on

a trouvé que beaucoup de ces montagnes de la lune ont une hauteur égale à celle des plus hautes montagnes de la terre. Il y a, dans la lune,



Fig. 54.

un assez grand nombre de montagnes dites *annulaires*, où un rempart circulaire et fermé entoure soit une grande plaine, soit quelquefois une excavation très-considérable, le *cratère*, tandis que du milieu de celui-ci s'élève une pointe conique que l'on nomme le *mont central*. Outre cela, on trouve encore divers groupes de montagnes et des chaînes de montagnes qui se croisent en différents sens, de sorte que toute la surface de la lune a un aspect très-montagneux, comme on peut le voir déjà avec un télescope de force médiocre.

Si nous comparons ces formes de montagnes avec celles de

la terre et avec les idées que nous avons sur l'origine de celles-ci, on est presque forcé d'attribuer aux montagnes de la lune une origine volcanique.

C'est ainsi encore que les observations les plus dignes de foi tendent à démontrer que la lune n'est pas entourée d'une atmosphère semblable à la nôtre, qu'il n'y a pas non plus sur sa surface de grandes masses d'eau analogues à nos mers, ce qui fait même douter tout à fait de la présence d'eau dans la lune. La nature physique entière de la surface de la lune est par conséquent tellement différente de celle de la terre, que des êtres d'une organisation semblable à la nôtre seraient incapables d'y vivre.

D'un autre côté, le moindre examen suffit pour faire considérer comme complètement ridicules les assertions par lesquelles on prétendait avoir vu, sur la lune, des constructions ou d'autres objets artificiels ou même des êtres animés. Car, eussions-nous même à notre disposition un télescope d'un grossissement de mille, la lune ne nous paraîtrait encore que telle que nous pourrions la voir à l'œil nu à une distance de 50 lieues géographiques, et, je le demande, qui pourrait, à pareille distance, reconnaître des objets tels qu'une maison, un homme, ou autres objets semblables.

On comprend que les hommes aient voué à leur plus proche voisin céleste, la lune, un intérêt tout particulier ; aussi possède-t-on des cartes de la lune qui la représentent telle qu'on la voit à l'aide d'un puissant téles-

cope. Certaines grandes étendues plus foncées étaient considérées autrefois comme de vastes mers et indiquées comme telles sous les noms de *Mare nubium* (Mer des nuages), *M. humorum*, *M. imbrium*, *M. serenitatis*, *M. tranquillum*, *M. crisium*, *M. fecunditatis*, *M. nectaris*. Les montagnes de la lune y sont également figurées, et pour les distinguer on leur a donné des noms empruntés à de célèbres astronomes ou naturalistes; nous en citerons quelques-unes des plus remarquables, savoir : Archimède, Platon, Copernic, Kepler, Cassendi, Tycho, Arzach, Purbach, Regiomontan, Ptolomée, Apian, Frascator, Plîne, Manilius, Galilée, Grimaldi, Aristarque, Autolicus, Aristippe, Eratosthène, Aristote.

64. L'orbite de la lune est une ellipse, ayant la terre à l'un de ses foyers et dont l'excentricité est plus grande que celle de l'orbite terrestre, de telle manière que sa forme dévie davantage du cercle.

La lune ne se trouve donc pas toujours à égale distance de la terre; elle a son point le plus rapproché, son point le plus éloigné et une distance moyenne : ce rapport est en tout semblable à celui de la terre au soleil, que nous avons décrit au § 54. C'est pour cette raison que sa grandeur apparente se modifie; car, selon son éloignement de la terre, son plus grand diamètre apparent est de $51' 46''$, son plus petit de $29' 12''$, et le diamètre moyen de $50' 14''$. La vitesse de la lune est également d'autant plus grande, qu'elle est plus rapprochée de la terre.

Mais, comme la lune se meut également avec la terre autour du soleil, son mouvement est un mouvement très-composé, qui forme une ligne spirale autour de la terre et offre, pour les calculs et les déterminations, des difficultés extraordinaires.

Celles-ci disparaissent cependant, si nous nous contentons d'abord de considérer seulement le rapport de la lune à la terre, en supposant celle-ci au milieu du cercle que parcourt la lune.

Le chemin parcouru par la lune dans l'espace céleste reste à la vérité dans le zodiaque, mais il ne tombe pas précisément dans l'orbite apparente du soleil, c'est-à-dire dans l'écliptique : il coupe celle-ci sous un angle d'un peu plus de 5° en deux points opposés, que l'on nomme les *nœuds* de l'orbe lunaire. Une moitié est par conséquent au sud, l'autre au nord de l'écliptique.

Si l'on observe la position de la lune par rapport à une étoile connue, et que l'on répète cette même observation le lendemain, on trouvera que la lune a dévié de cet astre d'un peu plus de 45° de l'ouest à l'est. Comme le cercle entier de son orbe a 560° , il résulte d'un calcul exact que la lune parcourt son orbite en 27 jours 7 heures 43 minutes et 12 secondes; au bout de ce temps, nous la voyons de nouveau près de la même étoile. On nomme ce temps le *mois sidéral* ou *périodique*.

Pendant cette révolution sidérale, la lune tourne *une fois* autour de son

axe, qui est à peu près perpendiculaire à l'écliptique, de telle sorte que l'équateur de la lune correspond à peu près au plan de l'écliptique, d'où résultent pour la lune, par rapport au soleil, les mêmes phénomènes qui, d'après ce que nous avons dit au § 57, arriveraient pour la terre si son axe était perpendiculaire à l'écliptique.

La lune montre constamment à la terre une seule et même moitié ; cela dépend également de ce que la rotation sur son axe correspond au temps du parcours de son orbite. Qu'il y ait une lumière sur une table ronde et que j'en fasse le tour en tenant la face constamment tournée vers la lumière, j'aurai, en arrivant au bout, non-seulement fait le tour de la table, mais en même temps un tour sur moi-même.

SOLEIL, TERRE ET LUNE.

65. Phases de la lune. Aucun autre corps céleste ne nous présente à l'œil nu des modifications aussi remarquables que la lune. Cela est si frappant, que l'on dit proverbialement : « Changeant comme la lune. » L'enfant lui-même remarque ces changements et demande ce qu'est devenue la vieille lune, où elle est allée ?

Comme la lune est par elle-même un corps opaque, et que toute la lumière qu'elle répand n'est que la réflexion de la lumière que lui envoie le soleil, nous sommes obligés, pour expliquer les modifications de la lune, d'avoir recours au soleil, attendu que ses différentes formes, appelées les *phases de la lune*, ne sont que la conséquence des modifications dans la position respective du soleil, de la terre et de la lune.

Observons, en premier lieu, qu'en raison de la distance considérable de la terre et de la lune au soleil et de la grandeur immense de ce dernier, les rayons lumineux partant de celui-ci tombent toujours en direction parallèle sur la terre et la lune, à quelque point de leurs orbites que l'une et l'autre puissent se trouver.

Admettons que *T* (fig. 55) soit la terre et *c c . .* la lune dans différentes positions de son orbite, et que *S S . .* représentent des rayons lumineux parallèles émanant du soleil, qui se trouve à une très-grande distance. Il est évident que les côtés de la terre aussi bien que ceux de la lune qui font face à ces rayons, doivent être éclairés, et que, pour un œil qui se trouverait dans le soleil, la terre et la lune apparaîtraient toujours comme des disques lumineux parfaits. Le côté opposé à celui qui reçoit la lumière, doit naturellement être obscur.

Si le soleil, la lune et la terre se trouvent sur une même ligne dans l'ordre où nous les nommons, de telle sorte que la lune se trouve entre la

terre et le soleil, comme *S A T* (fig. 55), on nomme cet état la *conjonction*, tandis que l'on nomme *opposition* la position où la terre se trouve entre le

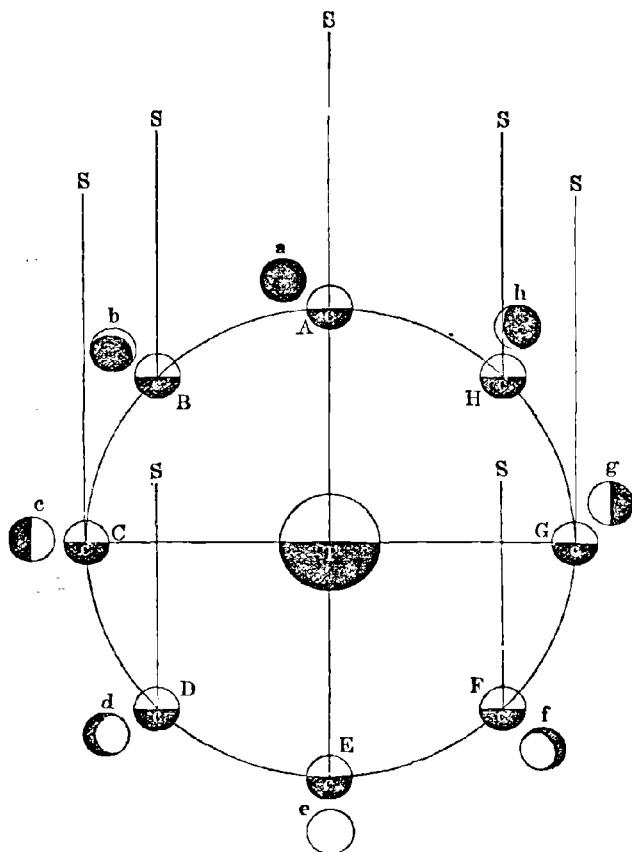


Fig. 55.

soleil et la lune, comme *S T E*. Les deux positions *C* et *G* se nomment les *quadratures* de la lune. Sur la terre, nous ne voyons de la lune que la face qui est tournée vers nous : ainsi, cette partie qui, sur notre dessin, se trouve coupée par le cercle de l'orbite lunaire ; tandis que *A B C D E F G H* représentent la lune vue du soleil, les figures *abc defgh*, qui se trouvent sur le côté en dehors du cercle, représentent les formes de la lune telles qu'elles apparaissent à l'œil qui se trouve sur la terre.

Dans la *conjonction* en *A*, la lune montre aux habitants de la terre sa face obscure : nous avons alors, comme on dit, *nouvelle lune*. La lune à cette époque est très-peu visible ; elle apparaît comme un corps pâle, de couleur gris de cendre, qui reçoit sa faible lumière de la terre. Mais, au bout de quelques jours, elle nous apparaît en *B* sous forme d'un croissant brillant convexe vers le soleil (*b*) ; en arrivant dans la quadrature *C*, à 90° de *A*, au *premier quartier* (*c*), la lune a grandi et pris la forme d'une demi-lune, où la ligne de séparation entre l'ombre et la lumière est devenue une droite. C'est ainsi que la portion visible de la face éclairée croît de plus en plus jusqu'au moment où la lune est en opposition ; elle nous montre alors toute sa face éclairée, et on dit que la lune est *pleine lune*. De là elle reprend les mêmes formes dans l'ordre inverse jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau dans la *conjonction*.

Comme on le voit dans la fig. 55, en *b* et en *h*, et plus distinctement dans les fig. 56 et 57, la lune forme, quand elle croît, un *D*, quand elle décroît un *C*. On a dit pour cette raison que la lune est une menteuse. Le mot latin « *decrescit* » signifie « elle décroît, » et pourtant la lune est en crois-

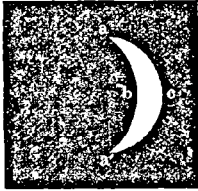


Fig. 56.

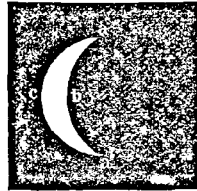


Fig. 57.

sance quand elle nous apparaît sous forme du *D*. Par contre « *crescit* » signifie « elle croît, » alors que la lune décroît quand elle forme le *C*.

D'après cela, on peut reconnaître, au simple aspect de la lune, si elle croît ou si elle décroît.

On peut très-utilement se représenter les différentes phases de la lune en plaçant au milieu d'une table une boule assez grande, qui figure la terre et autour de laquelle on peut promener à une distance convenable une boule plus petite, qui figure la lune. A une distance convenable des deux boules et à même hauteur se trouve une lampe, qui représente le soleil. Pour cette expérience, on donne à la boule de la lune une couleur blanche, afin que les limites de l'ombre soient mieux tranchées. Si on examine cette boule dans les divers points de son orbite en se plaçant à la grande boule, on reconnaît d'une manière très-claire toutes les phases de

la lune. Lorsque à proximité de la conjonction la lune ne forme plus qu'un croissant très-étroit, comme en *b* et *h* (fig. 55), le restant du disque n'est pas entièrement obscur, mais il est éclairé par un reflet cendré comme le montre à peu près la fig. 58. Ce reflet se nomme la *lumière cendrée*.

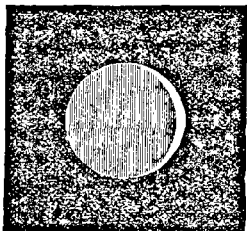


Fig. 58.

Elle ne dépend nullement d'une lumière propre de la lune, mais de ce que, à l'époque de la nouvelle lune, toute la moitié éclairée de la terre se trouve précisément en face de la lune (V. fig. 55). La nuit sur la lune est à cette époque éclairée par la lueur pleine de la terre : il y a donc pour elle alors *pleine terre*.

66. Comme la lune décrit journellement au ciel, de l'ouest à l'est, l'espace important de 15° , il est naturel qu'elle se lève chaque jour presque une heure plus

tard que la veille, ce qui n'arrive jamais pour les étoiles fixes, qui, immobiles au ciel, se lèvent et se couchent chaque jour à la même minute. Mais le lever de la lune peut se calculer très-exactement, et comme il peut être, dans maintes circonstances, avantageux de savoir si l'on peut compter sur la lumière lunaire et à quelle heure, les calendriers indiquent généralement non-seulement les phases, mais encore les heures du lever et du coucher de la lune.

67. Le calendrier. Le mouvement régulier des astres fournit le moyen le plus commode et le plus sûr de diviser le temps en unités plus ou moins grandes. Cependant, on ne fait intervenir que le soleil et la lune, comme étant les astres qui influent le plus sur la vie et les occupations de l'homme. La rotation de la terre sur son axe, qui reste toujours la même et qui produit les variations du jour et de la nuit, se présente naturellement comme la première unité à établir; le parcours de la terre autour du soleil, qui s'effectue en 365 jours et $\frac{1}{4}$ et qui donne lieu aux changements des saisons, forme une division de temps déjà plus grande.

Les subdivisions de l'année en mois et des mois en semaines sont basées sur les mouvements et les phases de la lune. Car le temps qui s'écoule entre deux conjonctions successives de la lune avec le soleil, savoir d'une nouvelle lune à la suivante, comprend environ 29 jours et demi, et entre deux quarts successifs il y a à peu près 7 jours et $\frac{3}{8}$. Mais comme ces périodes ne forment pas des *jours entiers*, il en résulte qu'il n'est pas possible de partager l'année d'après le mouvement de la lune en divisions égales. C'est ainsi, par exemple, que 12 révolutions de la lune autour de la terre forment 12 fois 29 $\frac{1}{2}$ jours, ou 354 ; il manque donc

encore 11 jours pour une année complète. Par contre, si l'on voulait diviser celle-ci en 12 parties égales, il y aurait pour chacune $30 \frac{1}{2}$ jours. Pour éviter ces fractions, on a fixé la durée des mois alternativement à 30 et à 31 jours. De même, pour que l'année se compose également toujours d'un chiffre entier de jours, on intercale, chaque fois après trois années communes de 365 jours, une quatrième année de 366 jours, que l'on nomme l'année bissextile. Comme le mois de février d'une année commune n'a que 28 jours, il en compte 29 dans une année bissextile.

Cette division du temps date de l'antiquité; elle a été introduite par Jules César en l'an 45 avant Jésus-Christ, et se nomme pour cette raison le *calendrier Julien*. Toutefois, la supposition sur laquelle ce calendrier se base, à savoir que l'année se compose exactement de 365 jours et un quart, n'est pas tout à fait précise; des explorations astronomiques ultérieures et plus exactes ont démontré que cet espace de temps ne mesurait que 365 jours 5 heures 48 minutes et 46 secondes; la supposition antérieure est donc trop élevée de 11 minutes 14 secondes. Par un calcul tout simple, on trouve que cet excédant, en s'accumulant, forme, au bout de 128 ans, 24 heures, autrement dit un jour. Il survint ainsi dans le cours des siècles une irrégularité dans la division du temps, à tel point qu'en 1582 l'équinoxe de printemps arrivait le 11 mars, au lieu du 21, ainsi 10 jours trop tôt. Mais de l'an 45 avant Jésus-Christ jusqu'en 1582 après Jésus-Christ, il s'est écoulé 1626 ans, qui, divisés par 128, donnent à peu près 13 jours, ce qui prouve que, entre-temps, on n'avait pas exactement suivi la division ordonnée par Jules César.

Pour remédier à tous ces inconvénients, même dans l'avenir, le pape Grégoire XIII opéra en 1582 la réforme du calendrier d'après laquelle on divise encore aujourd'hui l'année, et qu'on désigne sous le nom de *calendrier grégorien*. On posa alors en même temps la condition qu'en conformité du décret du concile tenu à Nicée en 325, l'équinoxe de printemps arriverait toujours le 21 mars, et que les *Pâques* seraient toujours célébrées le dimanche après la pleine lune qui suit l'équinoxe de printemps.

Pour mettre cette mesure à exécution, l'année 1582 fut raccourcie de 10 jours; on compta en une fois du 4 au 15 octobre. Mais pour que la faute antérieure ne se renouvelle pas, on ordonna en outre que tous les 400 ans on supprimerait trois années bissextiles, et cela de la manière suivante. La dernière année de chaque siècle, l'année dite séculaire, qui, d'après le calendrier julien, devrait être une année bissextile, ne compte dorénavant que 365 jours quand le chiffre de l'année n'est pas divisible par 400. C'est ainsi que les années 1600 et 2000 restent des années bissextiles; par contre, les années 1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300 ne le sont pas. Pour savoir si une année est bissextile, on n'a qu'à se

rappeler que toutes les années dont le millésime est divisible par 4 sans reste sont bissextiles.

Le calendrier grégorien fut aussitôt introduit dans tous les pays catholiques, et depuis le xviii^e siècle il a été également adopté par les protestants. C'est seulement en Russie que l'on a conservé le calendrier julien, qui, pour cette raison, est de 12 jours en retard sur notre date, de sorte que l'on ne célèbre la nouvelle année que lorsque nous sommes déjà au 15 janvier.

De la manière dont la *fête de Pâques* a été fixée, elle ne peut jamais arriver avant le 22 mars, ni après le 25 avril. Ce sont là les *dates extrêmes* de cette fête.

D'autres fêtes sont fixées d'après la fête de Pâques, telles sont la fête de l'*Ascension* et celle de la *Pentecôte*, qui arrivent respectivement 40 et 50 jours après Pâques.

68. Des marées. L'attraction entre différentes parties de matière est toujours réciproque; ainsi la lune est attirée par la terre, mais la terre aussi est attirée par la lune. L'attraction exercée par la lune sur un endroit quelconque de la surface terrestre sera d'autant plus sensible que cet endroit se trouve plus rapproché de la lune, ce qui arrive quand la lune passe au méridien de cet endroit. D'une manière générale, l'attraction est encore la plus forte dans le voisinage de l'équateur terrestre, au-dessus duquel la lune se trouve presque toujours perpendiculairement.

Sur la partie solide de la terre, cette attraction ne se fait sentir qu'indirectement; tandis que la partie liquide, les eaux des mers, qui recouvrent la plus forte partie de la surface terrestre, obéit, en raison de sa mobilité, à l'attraction et s'élève dans la direction entière du méridien dans lequel la lune se trouve.

Cette élévation de la mer à certaines époques se nomme le *flux*, et, pour la raison citée plus haut, celui-ci est d'autant plus fort sous un même méridien, que l'endroit est plus rapproché de l'équateur, et il diminue vers les pôles, de telle sorte qu'à l'île de Saint-Malo il est de 50 pieds, tandis qu'aux côtes de Norwége il n'est plus guère sensible.

Mais comme, au même moment, le centre de la terre subit l'attraction dans la même direction et lui cède jusqu'à un certain point, la mer du côté opposé du méridien, ne pouvant, à cause de sa force d'inertie, suivre instantanément la terre qui fuit sous elle, se soulève aussi. Le flux forme pour ainsi dire autour de la terre, en passant par les pôles, un anneau qui est plus élevé vers l'équateur et disparaît aux pôles, et qui glisse de l'est à l'ouest sur la surface terrestre à mesure que, en vertu de la rotation en sens inverse de la terre, la lune arrive peu à peu dans les méridiens des divers endroits.

Une conséquence de cela, c'est qu'endéans les 24 heures le flux a lieu deux fois dans un même endroit à des intervalles de 12 heures, et qu'en même temps que le flux a lieu chez nous, par exemple, la mer s'élève également chez nos antipodes.

Mais si la mer afflue en même temps vers deux points opposés de la terre, pour s'y élever sous forme de flux, il faut nécessairement que dans la partie située entre ces deux points l'eau s'abaisse; autrement dit, qu'il y ait *reflux*, et celui-ci sera le plus fort précisément aux endroits qui se trouvent au milieu des deux flux. Tous les endroits situés sur le même méridien ont le reflux en même temps, de sorte que ce reflux forme, pour ainsi dire, dans les eaux un sillon en forme de cercle qui traverse les pôles, et y coupe à angle droit les cercles formés par le flux.

De cette manière, on voit journellement sur les côtes de la mer, pendant 6 heures, l'eau affluer vers la terre, recouvrir la plage, remonter les fleuves à des distances considérables, se briser écumante contre les rives escarpées, comme si elle voulait tout engloutir et submerger. Mais arrivée à son point culminant, il se fait un calme de 15 minutes, puis, comme honteuse de sa vaine attaque, la mer se retire, pour s'élever de nouveau 6 heures après.

C'est un spectacle grandiose et qui saisit d'une secrète terreur, que ce roulement tumultueux de ces vagues foncées, couronnées d'une écume argentée, qui rampent comme des monstres pour se rapprocher de nous, et qui, brisées sur le rivage, ne tardent pas à naître et à renaître de la mer.

Comme la lune arrive chaque jour dans le méridien d'un endroit 50 minutes plus tard, le flux se présente également le jour suivant d'autant de minutes plus tard. Mais comme les phénomènes du flux et du reflux se reproduisent toujours avec cette régularité, on peut prédire avec précision l'heure de la marée pour chaque endroit, ce qui est très-important pour la navigation.

Cependant, le phénomène de la marée ne se présente pas toujours de la manière simple que nous venons de décrire. Car, abstraction faite de beaucoup de circonstances locales, telles que la forme et la situation des côtes, il y a encore des causes passagères, telles que les vents, qui troublent la marche régulière de la marée. De même ce n'est pas la lune seule, qui détermine une élévation et un abaissement de la mer, le soleil aussi participe à ce phénomène, quoique à un moindre degré. Selon la position de ces deux astres par rapport à la terre, il résulte de la combinaison de leurs effets une marée plus ou moins forte. La plus forte arrive aux époques de la nouvelle et de la pleine lune, parce qu'alors les flux produits par les deux corps célestes coïncident pour le temps et pour le lieu, tandis qu'à l'époque des quadratures le flux de la lune coïncide avec le reflux du soleil, et que par conséquent la différence seule entre les deux effets se fait sentir.

69. Éclipses. Les obscurcissements des astres que l'on remarque de temps en temps ne sont autre chose que des effets de l'ombre que projette un corps opaque, lorsqu'un de ses côtés est éclairé. Si le corps lumineux *A* (fig. 59) surpasse en grandeur le corps *B*, il y a, par suite de la propagation rectiligne de la lumière, deux sortes d'ombres.

L'ombre véritable se trouve là où il ne peut absolument pas parvenir de lumière, et elle forme un cône dont le sommet *S* se trouve derrière le corps obscur. Du moment que l'œil se porte dans la véritable ombre, il

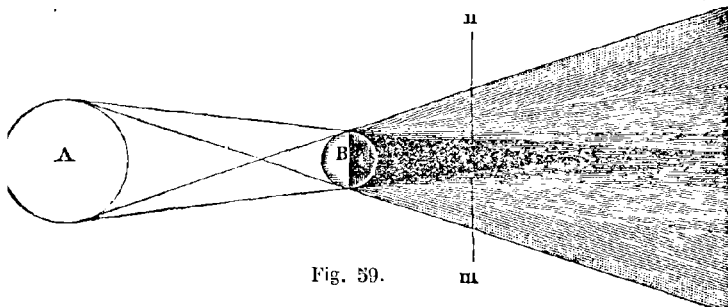


Fig. 59.

ne peut apercevoir aucune partie de la source lumineuse *A*; celle-ci a disparu à ses yeux. La *pénombre*, au contraire, se forme où la lumière arrive non de toutes les parties du corps lumineux, mais au moins de quelques parties. Elle forme également un cône, mais le sommet figuré de ce cône se trouverait devant le corps obscur. Si nous recevons l'ombre ainsi formée sur une feuille de papier blanc, en *mn* par exemple, nous obtenons au milieu un cercle noir qui est l'ombre véritable entourée de la pénombre, qui diminue d'intensité vers l'extérieur (fig. 60). Plus nous éloignons le papier du corps qui forme l'ombre, plus le diamètre de l'ombre véritable diminue, tandis que celui de la pénombre augmente.

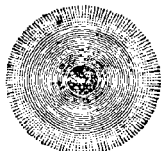


Fig. 60.

70. Éclipse de lune. Que *A* (fig. 59) soit le soleil et *B* la terre, la longueur de l'ombre véritable de celle-ci dépassera 108 rayons terrestres. Mais comme la lune n'est éloignée de la terre que de 50 rayons terrestres, et que le diamètre de l'ombre de la terre à cette distance est presque trois fois aussi grand que le diamètre apparent de la lune, celle-ci, dès qu'elle y entre, doit devenir totalement obscure.

Si les mouvements de la terre et de la lune par rapport au soleil se faisaient exactement sur le même plan, ce qui aurait lieu si l'orbite lunaire

correspondait à l'écliptique, il faudrait que chaque fois que la lune se trouve dans l'opposition (§ 65), c'est-à-dire à chaque pleine lune, il y ait éclipse de lune. Mais nous avons vu que l'orbite lunaire ne coupe l'écliptique qu'en deux points, nommés les *nœuds* (§ 64); il ne peut donc arriver d'éclipse que lorsque celle-ci, à l'époque de l'opposition, se trouve dans un des nœuds mêmes ou bien dans son voisinage, ce qui arrive, en 18 ans, 29 fois.

L'éclipse de lune commence au bord oriental de la lune; elle peut être *totale* quand la lune entre entièrement dans la véritable ombre, ou *partielle* quand elle n'y entre qu'en partie. La durée de la première peut aller jusqu'à deux heures.

71. Les éclipses de lune sont visibles, de même grandeur et de même durée sur tous les points de l'hémisphère nocturne de la terre au-dessus de l'horizon desquels la lune se trouve. Par contre, des observateurs placés en différents endroits et à une certaine distance l'un à l'est, l'autre à l'ouest, ne verront pas le début et la fin de l'éclipse à la même heure du jour, et on peut utiliser cette circonstance pour déterminer la *longitude* d'un endroit, c'est-à-dire pour rechercher sa distance du premier méridien (§ 26). Plus deux endroits sont éloignés l'un de l'autre à l'est et à l'ouest, plus il y a de différence dans l'heure du jour où l'on observe l'entrée de la lune dans l'ombre de la terre. Si cela a lieu en un endroit à 10 heures et en un autre plus à l'ouest à 9 heures, les deux endroits sont distants l'un de l'autre de 15°. La forme circulaire qu'affecte l'ombre de la terre sur le disque lunaire est en même temps une preuve de la sphéricité de la terre.

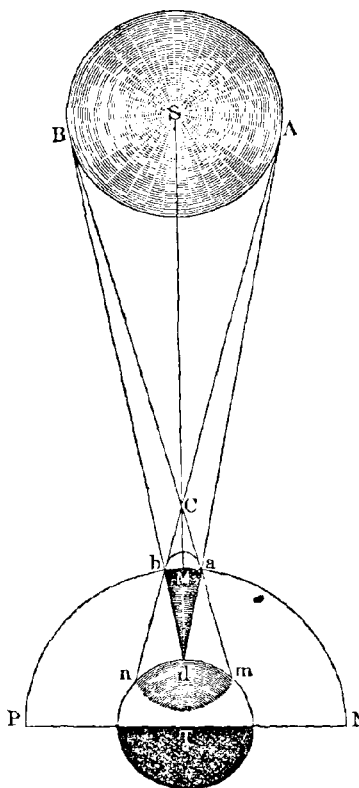


Fig. 61.

72. Éclipse de soleil. Lorsque la lune et le soleil se trouvent dans la conjonction, la lune *M* (fig. 61) se trouve entre la terre *T* et le soleil *S*.

Si cela arrive à une époque où la lune passe par un de ses nœuds ou en est rapprochée de 16° , l'ombre de la lune tombe sur la terre. Cela a lieu 41 fois endéans 18 ans; mais de ce qui va suivre il ressort que, pour le même endroit les éclipses de soleil sont trois fois plus rares que les éclipses de lune.

La longueur de l'ombre que projette la lune est plus grande que sa distance à la terre quand la lune se trouve à son point le plus rapproché de celle-ci; mais il n'en est plus de même, quand la lune est à sa grande distance. Dans le premier cas un petit morceau, d , de la surface terrestre peut être couvert par l'ombre; il y a alors pour cette partie *éclipse totale*. Le diamètre du soleil apparaît plus petit que celui de la lune, de sorte que pour l'observateur en d , le soleil paraît pour quelque temps complètement obscurci. La plus longue durée d'une éclipse totale de soleil pour un endroit n'est que de 5 minutes. Quand la lune est à son plus grand éloignement de la terre, le diamètre de la lune paraît plus petit que celui du soleil; alors du point d de la surface terrestre on aperçoit encore un étroit anneau lumineux du soleil: c'est pourquoi on nomme ce phénomène une *éclipse annulaire*.

En revanche, la pénombre de la lune se répand sur une partie beaucoup plus considérable $m m$ de la terre, parce que sa section comprend $\frac{8}{9}$ du diamètre de la terre.

Les habitants des contrées qui se trouvent dans la pénombre ne reçoivent pas de lumière de tous les points du soleil: il y a donc une partie de celui-ci qui leur est invisible, et pour eux l'éclipse de soleil est *partielle*.

L'éclipse dans le soleil commence au bord occidental et progresse vers le bord oriental. Mais à cause de la grande proximité de la lune, tous les endroits à l'horizon desquels le soleil se trouve, ne voient l'éclipse de soleil ni en même temps, ni de la même manière, ni de même durée; il peut même y avoir certains points où elle est invisible. Dans le cas le plus favorable, le diamètre de l'ombre qui touche la terre ne peut dépasser 36 lieues géographiques (27 myriamètres), de sorte qu'il n'y a éclipse totale de soleil que pour une portion relativement très-restreinte de la surface terrestre.

73. Les planètes. Il a déjà été dit (§ 45) que lorsqu'on observe attentivement les étoiles, on en distingue quelques-unes qui changent d'une manière remarquable leur position par rapport aux étoiles fixes et que l'on a nommées, pour cette raison, étoiles errantes ou *planètes*. Si on les explore plus attentivement au moyen de la lunette d'approche, elles paraissent beaucoup plus grosses et sous forme de disques *mesurables*, et d'une lumière *tranquille*, qui n'émane pas d'elles, mais qui n'est que de la lumière réfléchie du soleil. C'est ce qui les distingue essentiellement des étoiles fixes, qui, même au grossissement le plus fort, demeurent toujours de petits

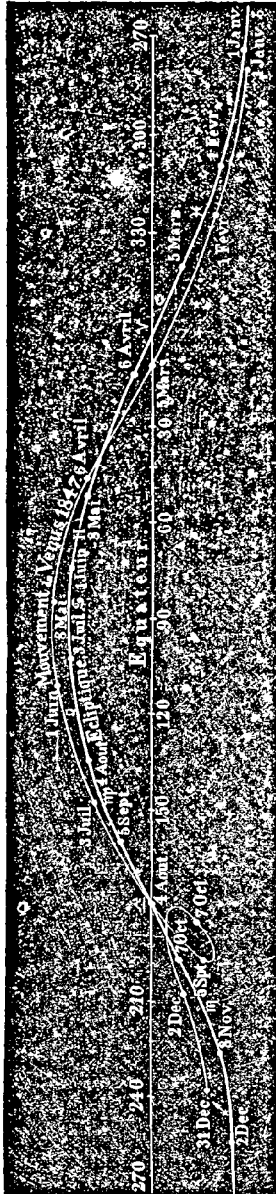


Fig. 62.

points lumineux *incommensurables*, et que nous avons désignés comme des soleils à lumière propre situés à des distances immenses.

74. Les planètes, au contraire, se trouvent à des distances relativement petites de la terre, et leur nombre paraît insignifiant en présence des légions d'étoiles fixes; mais d'autres rapports nous les rendent extrêmement intéressantes.

En ce qui concerne, en premier lieu, le *mouvement des planètes*, celui-ci est restreint dans de certaines limites qui ont été désignées au § 60 sous le nom de *zodiaque*. Mais combien leur chemin diffère de celui du soleil ou de la lune! Car tandis que ces astres progressent dans des temps déterminés et en arcs à peu près égaux d'une constellation de l'ouest à l'est, jusqu'à ce qu'ils aient parcouru au ciel un cercle complet, nous voyons une planète progresser, par exemple, pendant quelque temps de la même manière et très-rapidement; puis sa vitesse diminue; elle paraît même pendant quelques jours rester immobile, ou bien, à partir de là, elle rétrograde, pour décrire de nouveau une ligne irrégulière. Le mouvement que fait une planète quand elle suit le chemin du soleil se nomme le mouvement *direct*, tandis que le mouvement contraire se nomme *rétrograde*. Entre ces deux mouvements il y a toujours un temps d'arrêt. Nous voyons encore, par rapport à l'écliptique, que les planètes parcourent leur chemin tantôt du côté nord, tantôt du côté sud de celle-ci, de sorte qu'il coupe l'écliptique en certains points que l'on nomme, comme pour la lune, des *nœuds*. Pour faire comprendre ce mouvement remarquable des planètes, nous utilisons (fig. 62) le chemin parcouru par *Vénus* en 1847. On voit que

du 1^{er} janvier au 5 septembre, elle suit directement l'orbite solaire (l'écliptique), puis qu'elle devient subitement rétrograde en faisant une véritable boucle.

Avant que l'on possédât une intelligence exacte de la marche des planètes ainsi que de leur rapport avec le soleil, rien n'était aussi difficile que d'expliquer ces mouvements singuliers. Tous les efforts des systèmes erronés des anciens vinrent échouer contre les planètes, et y dévoiler leur inexactitude et leur imperfection.

Le soleil n'est pas seulement le point d'attraction pour notre terre, qui décrit ses ellipses autour de lui, mais encore pour un grand nombre d'autres astres et notamment pour les planètes dans lesquelles nous devons également ranger la terre.

On connaît jusqu'à présent 61 planètes, et d'après les découvertes les plus récentes, il n'y a pas de raison d'admettre que leur nombre en restera là.

Les planètes offrent des différences notables sous le rapport de leur grandeur, de leur éloignement du soleil, de leur vitesse et de leur nature physique; mais en revanche, elles s'accordent toutes sous le rapport de la forme, du manque de lumière propre et de la forme elliptique de leurs orbites autour du soleil. Les plans de ces orbites sont en outre inclinés les uns sur les autres sous des angles très-petits; il n'y a que quelques-unes des plus petites qui forment exception à cette règle. La rotation sur un axe a été constatée sur un très-grand nombre d'entre elles, de sorte qu'on peut l'admettre pour toutes.

75. Les planètes, dans leur connexion entre elles et le soleil, forment ce que l'on nomme le *système planétaire*; on peut se le représenter d'une manière assez convenable, lorsqu'on en trace un dessin sur une table ou sur une feuille de papier. Pour cela on prend le soleil comme point fixe d'attraction et on trace autour de ce point, sous forme de cercles ou d'ellipses, les orbites des planètes sur une petite échelle.

Un moyen plus facile et cependant parfaitement suffisant pour comprendre la chose, c'est de tracer les orbites en cercles, dont les rayons représentent la distance moyenne des planètes au soleil, comme la fig. 63 l'indique. Pour tracer les orbites elliptiques, il faut connaître leur grand axe et leur excentricité (§ 13).

On distingue des *planètes inférieures* qui sont plus rapprochées du soleil que la terre, il n'en existe que deux, Mercure et Vénus, et des *planètes supérieures*, dont les orbites entourent celle de la terre et dans lesquelles se rangent toutes les autres planètes.

Par *planètes anciennes*, on comprend celles qui étaient connues depuis les temps les plus reculés, telles que *Mercure* ☿, *Vénus* ♀, la *Terre* ♂, *Mars* ♂, *Jupiter* ♃ et *Saturne* ♄; tandis que les autres, découvertes seu-

lement depuis l'invention des télescopes, se nomment *planètes modernes*. A cette catégorie appartiennent les deux grandes planètes les plus éloignées du soleil, *Uranus* et *Neptune*, ainsi qu'une foule d'astres plus petits,

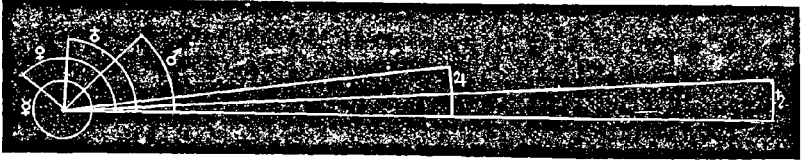


Fig. 65.

situés tous dans l'espace compris entre les orbites de *Mars* et de *Jupiter*. Ces petites planètes, qui à l'œil nu ne se distinguent pas essentiellement de faibles étoiles fixes, ont été encore désignées sous le nom d'*astéroïdes*, et presque chaque année on en découvre une nouvelle.

Les tableaux suivants donnent une idée sommaire des rapports les plus importants des planètes. Nous ferons observer que, vu le nombre toujours croissant des petites planètes découvertes, on a renoncé à leur donner des signes figurés ; on les désigne maintenant par un anneau dans lequel se trouve un chiffre indiquant le numéro d'ordre de sa découverte :

I

PLANÈTES.	SIGNES		CONNUES DEPUIS	DÉCOUVERTES PAR	DISTANCE MOYENNE DU SOLEIL ou moitié du grand axe.		EXCENTRICITÉ en fraction de la moitié du grand axe.	NOMBRE de jours employés pour décrire son orbite.
	anciens.	modernes.			Millions de lieues géograph.	Distance de la terre au soleil(4).		
1 Mercure.			Antiquité.		8,00	0,387	0,206	88
2 Vénus.			»		14,96	0,723	0,007	225
3 Terre.			»		20,68	1,000	0,017	363
4 Mars.			»		31,51	1,524	0,093	687
5 Ariadne.		⊕	1857 Avril 13	Pogson.	43,48	2,199	0,138	1191
6 Flora.		⊕	1847 Oct. 18	Hind.	45,52	2,201	0,156	1193
7 Harmonia.		⊕	1856 Mars 31	Goldschmidt.	46,86	2,266	0,046	1246
8 Melpomène.		⊕	1852 Juin 24	Hind.	47,46	2,296	0,217	1270
9 Victoria.		⊕	1850 Sept. 13	Hind.	48,28	2,353	0,218	1305
10 Euterpe.		⊕	1853 Nov. 8	Hind.	48,51	2,346	0,174	1515
11 Vesta.		⊕	1807 Mars 29	Olbers.	48,82	2,361	0,090	1525
12 Urania.		⊕	1834 Juill. 22	Hind.	48,93	2,366	0,126	1529
13 Nemausa.		⊕	1858 Janv. 22	Laurent.	49,18	2,378	0,063	1539
14 Métis.		⊕	1848 Avril 26	Graham.	49,35	2,385	0,124	1546
15 Iris		⊕	1847 Août 13	Hind.	49,37	2,387	0,251	1547
16 Daphné.		⊕	1856 Mai 22	Goldschmidt.	49,64	2,400	0,203	1558
17 Phocée.		⊕	1853 Avril 7	Chacornac.	49,66	2,401	0,253	1559
18 Massalia.		⊕	1852 Sept. 19	Gasparis.	49,85	2,409	0,144	1566
19 Hébé.		⊕	1847 Juill. 1	Henke.	50,16	2,425	0,202	1579
20 Isis.		⊕	1856 Mai 23	Pogson.	50,34	2,434	0,223	1587
21 Lutetia.		⊕	1852 Nov. 15	Goldschmidt.	50,37	2,453	0,162	1583
22 Fortune.		⊕	1852 Août 22	Hind.	50,50	2,443	0,158	1595
23 Parthénope.		⊕	1850 Mai 11	Gasparis.	50,63	2,451	0,099	1402
24 Hestia.		⊕	1857 Août 16	Pogson.	50,73	2,437	0,123	1407
25 Thétis.		⊕	1852 Avril 17	Luther.	51,16	2,473	0,128	1421
26 Amphitrite.		⊕	1854 Mars 1	Marth.	52,83	2,554	0,073	1491
27 Astrée.		⊕	1843 Sept. 8	Henke.	53,31	2,577	0,190	1311
28 Égérie.		⊕	1850 Nov. 2	Gasparis.	53,31	2,577	0,087	1311
29 Pomone.		⊕	1854 Oct. 26	Goldschmidt.	53,42	2,583	0,096	1516

(4) Celui qui désire connaître les distances moyennes au soleil en myriamètres, n'a qu'à multiplier le chiffre indiqué dans cette colonne par 15,500,000 myriamètres.

PLANÈTES.	SIGNES		CONNUES	DÉCOUVERTES	DISTANCE MOYENNE DU SOLEIL en moitié du grand axe.		EXCENTRICITÉ en fractions de la moitié du grand axe.	NOMBRE de jours employés pour décrire son orbite.
	anciens.	modernes.			DEPUIS	PAR			Millions de	Distance
			heures	de la terre				
30 Irène.		(14)	1831 Mai 19	Hind.	53,43	2,383	0,169	1318
31 Calypso.		(53)	1838 Avril 4	Luther.	54,04	2,613	0,180	1343
32 Thalie.		(23)	1832 Déc. 15	Hind.	54,50	2,626	0,233	1334
33 Fidès.		(37)	1833 Oct. 3	Luther.	54,65	2,642	0,175	1369
34 Eunomie.		(15)	1831 Juill. 29	Gasparis.	54,69	2,644	0,188	1370
35 Virginie.		(50)	1837 Oct. 4	Ferguson.	54,83	2,651	0,287	1376
36 Proserpine.		(26)	1833 Mai 5	Luther.	54,93	2,656	0,088	1381
37 Junon.		(3)	1804 Sept. 1	Harding.	55,19	2,669	0,257	1592
38 Nysa.		(44)	1857 Mai 27	Goldschmidt	55,36	2,677	0,433	1600
39 Circé.		(34)	1833 Avril 6	Chacornac.	55,60	2,688	0,108	1610
40 Eugénie.		(45)	1837 Juin 26	Goldschmidt.	55,78	2,697	0,091	1618
41 Lèda.		(38)	1836 Janv. 12	Chacornac.	56,66	2,710	0,136	1636
42 Atalante.		(36)	1835 Oct. 5	Goldschmidt.	56,87	2,730	0,298	1636
43 Cérés.	♃	(1)	1801 Janv. 1	Piazzi.	57,20	2,766	0,079	1680
44 Pallas	♃	(2)	1802 Mars 28	Olbers.	57,28	2,770	0,259	1685
45 Lætitia.		(39)	1836 Févr. 8	Chacornac.	57,31	2,771	0,111	1685
46 Bellone.		(28)	1834 Mars 1	Luther.	57,39	2,773	0,153	1689
47 Polyhymnia.		(33)	1834 Oct. 28	Chacornac.	59,28	2,866	0,357	1772
48 Aglaé.		(17)	1837 Sept. 15	Luther.	59,76	2,889	0,140	1794
49 Calliope.		(22)	1832 Nov. 16	Hind.	60,18	2,910	0,102	1813
50 Psyché.		(16)	1832 Mars 17	Gasparis.	60,43	2,923	0,153	1823
51 Leucothée.		(35)	1833 Avril 19	Luther.	61,30	2,974	0,217	1875
52 Palès.		(13)	1837 Sept. 19	Goldschmidt.	63,83	3,086	0,233	1980
53 Doris.		(48)	1837 Sept. 19	Goldschmidt.	64,26	3,107	0,077	2000
54 Europe.		(52)	1838 Févr. 14	Goldschmidt.	64,84	3,133	0,143	2028
55 Hygiène.		(10)	1849 Avril 12	Gasparis.	63,13	3,149	0,101	2041
56 Thémis.		(24)	1833 Avril 5	Gasparis.	63,17	3,131	0,117	2043
57 Euphrosine.		(31)	1834 Sept. 2	Ferguson.	63,27	3,136	0,216	2048
58 Jupiter.	♃		Antiquité.		107,08	5,205	0,048	4333
59 Saturne.	♄		"		197,23	9,539	0,036	10739
60 Uranus.	♅		1781 Mars 13	Herschel.	396,72	19,182	0,047	30687
61 Neptune.	♆		1846 Sept. 23	Leverrier et Galle.	621,20	30,036	0,009	60125

II

PLANÈTES.	DIAMÈTRE.		VOLUME.		DURÉE de LA ROTATION autour de son axe.
	En LIEUES géographiq.	Plus grand DIAMÈTRE apparent.	MILLIONS de lieues cubes.	TERRE = 1.	
Mercure....	671	13''	159	0.060	Heures. Minut. 24 5
Vénus.....	1694	64''	2541	0.057	25 21
Terre.....	1719	—	2689	1.000	25 56
Mars.....	882	25''	572	0.140	24 37
Jupiter....	19294	49'',2	5760900	1414.2	9 55
Saturne....	15517	20'',5	4952600	734.8	10 29
Uranus....	7466	4'',3	218000	82.0	Inconnue.
Neptune....	7850	2'',6	251000	94.0	Id.
Soleil.....	192617	52' 34''	3742000000	4407124.0	612 0
Lune.....	468	35' 31''	54	0.018	653 44

76. Les deux planètes inférieures, *Mercure* et *Vénus*, présentent quelques phénomènes analogues à ceux qu'offre la lune. Car, comme elles se meuvent entre le soleil et l'orbe terrestre, elles entrent, à certaines époques, en double *conjonction* avec ceux-ci, l'une inférieure quand la planète se trouve entre la terre et le soleil, et l'autre supérieure, quand elle se trouve de l'autre côté du soleil en droite ligne avec la terre. Dans la *conjonction inférieure*, qui arrive souvent pour *Mercure* à cause du peu de temps qu'il met à parcourir son orbite, nous voyons quelquefois la planète passer, sous forme d'une tache obscure, devant le soleil. C'est ce phénomène, désigné sous le nom de *passage de Mercure*, qui nous a convaincus que les planètes reçoivent leur lumière du soleil.

A l'aide du télescope, on remarque aussi sur ces planètes, selon leur position par rapport au soleil, des *phases* semblables à celles de la lune; c'est surtout *Vénus* qui, lorsqu'elle apparaît au matin après une disparition de plusieurs jours, offre la forme d'un croissant lumineux. *Vénus* est en général une étoile facilement remarquable tant par la vivacité de sa lumière et sa grandeur apparente, que par sa proximité du soleil. A raison de ce voisinage, elle se montre toujours vers l'époque du lever et du cou-

cher du soleil et a reçu le nom d'*étoile du matin* et d'*étoile du soir* (Lucifer et Hesperus). On a également constaté sur cette planète une atmosphère, des montagnes élevées et une rotation sur un axe placé à peu près dans le plan de son orbite.

77. Les *planètes supérieures* dont les orbites entourent en même temps le soleil et la terre, entrent également, par rapport à ceux-ci, dans la position de conjonction, d'opposition et de quadrature (V. § 65). La planète *Mars*, qui est la plus proche de nous, a une lumière remarquablement rouge, que l'on attribue à une atmosphère très-haute et très-dense. Parmi les autres particularités que l'on observe sur Mars, on remarque un aplatissement visible, résultat de sa rotation autour de son axe, ainsi que des taches claires qui ont été constatées aux pôles et que l'on nomme *zones de neige*. Elles deviennent plus petites quand le pôle respectif est tourné vers le soleil, de même que sur la terre la glace polaire diminue aussi dans ce cas.

Jupiter se distingue par un éclat remarquable; il est, comme le montrent les fig. 42 et 64, la plus grande de toutes les planètes; on y observe une atmosphère et divers rubans ou zones parallèles à son équateur. Comme conséquence de la vitesse prodigieuse avec laquelle il tourne en 10 heures environ autour de son axe à peu près perpendiculaire, Jupiter montre le plus fort aplatissement (comp. *Physique*, § 68); car son axe de rotation est au diamètre de son équateur comme 13 est à 14.

Au lieu d'une seule lune qui entoure la terre, le puissant Jupiter est entouré de *quatre petits satellites*, qui y produisent les mêmes effets que la lune sur la terre. Bien que ces satellites soient plus grands que la lune, on ne peut les apercevoir qu'à l'aide du télescope. L'intérêt principal qui s'attache à ces corps, c'est que c'est sur eux qu'on a étudié la vitesse de la propagation de la lumière. Puisque ces lunes entourent Jupiter, elles entrent de temps en temps dans l'ombre projetée par la planète et elles sont éclipsées. Lorsqu'on eut ainsi calculé de la manière la plus exacte le moment de l'entrée et de la sortie, on constata qu'à l'époque de la conjonction, lorsque la terre et Jupiter sont plus éloignés de 42 millions de lieues géographiques, les éclipses des lunes de Jupiter arrivaient considérablement plus tard (de 16 minutes 36 secondes) que quand elles ont lieu à l'époque de l'opposition, où les deux planètes sont beaucoup plus rapprochées. Les derniers rayons d'un satellite qui disparaît dans l'ombre n'arrivent ainsi à nous que lorsqu'il est déjà éclipsé depuis quelque temps; il faut donc que la lumière ait besoin d'un certain temps pour parcourir son chemin, et ce temps est d'une seconde pour 42000 lieues (30000 myriamètres).

78. *Saturne* est unique dans son genre par le *disque annulaire* qui l'entoure librement dans la région de son équateur et qui tourne autour

de la planète. On ne l'aperçoit qu'à l'aide de la lunette et dans des positions très-différentes et quand Saturne se trouve dans les signes du Bélier et du Cancer.

Cet anneau, qu'une exploration plus attentive démontre composé de deux anneaux, est, comme la masse de la planète elle-même, un corps solide et projette sur Saturne une ombre distinctement visible. On peut se le représenter comme composé d'un grand nombre de satellites de petit volume rangés en anneau les uns à côté des autres, réunis entre eux, et faisant simultanément leur course autour de la planète.

Indépendamment de son anneau, Saturne possède *sept satellites* qui se meuvent autour de lui à des distances plus considérables encore et que l'on ne peut également distinguer qu'à l'aide du télescope.

79. *Uranus* était, il y a peu de temps encore, considéré comme la planète la plus éloignée ; à cause de sa faible lueur, il est à peine visible à l'œil nu, c'est pour cette raison qu'il était inconnu des anciens. On le dit entouré de *six satellites*, dont deux seulement ont été plus particulièrement observés.

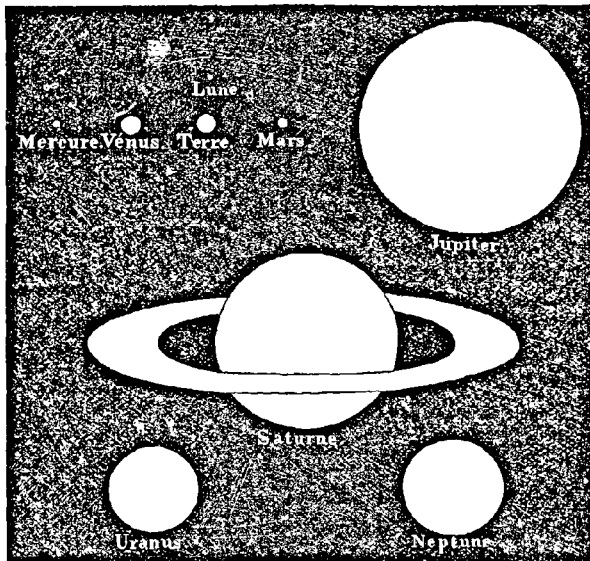


Fig. 64.

Nous parlerons plus bas des planètes découvertes dans les derniers temps.

Après avoir déjà donné (fig. 42), une idée comparative des grandeurs du soleil et de quelques planètes, nous terminons ce chapitre par la fig. 64, qui représente les grandeurs relatives des principales planètes.

80. Le système planétaire. *Ptolémée*, qui vivait au milieu du 2^e siècle de l'ère chrétienne et appartenait à la célèbre école d'Alexandrie, essaya le premier d'expliquer les phénomènes que l'on observait au ciel ; car l'antiquité n'avait jamais répondu que par des mythes à des questions que ne peuvent résoudre ni la poésie ni l'imagination, mais que la science d'observation peut seule vider.

D'après le système de Ptolémée, la terre restait fixe au centre de onze sphères creuses qui, devenant plus grandes de distance en distance, étaient renfermées les unes dans les autres. Dans chacune de ces sphères creuses, que l'on se figurait consister en une masse solide semblable au cristal, il fixait des corps célestes ; ainsi dans la plus rapprochée il plaçait la lune, dans les suivantes Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, puis dans la huitième la totalité des étoiles fixes, et il se servait des trois dernières pour expliquer quelques autres phénomènes.

Il saute aux yeux que ce système est en opposition flagrante avec une multitude de phénomènes ; aussi ne tarda-t-on pas à s'en apercevoir ; on l'améliora alors sous le nom de *système planétaire égyptien*, d'après lequel on avait fait de Mercure et de Vénus des satellites du soleil, tout en conservant à celui-ci son parcours autour de la terre. Malgré cet arrangement, il restait encore bien des choses importantes à expliquer ; c'étaient surtout ces mouvements surprenants des planètes que nous avons décrits au § 74 qui restaient une énigme, et on était ainsi forcé de recourir à diverses suppositions aussi singulières que subtiles.

Ce n'est qu'au milieu du xv^e siècle que *Copernic*, né à Thorn en 1473 et décédé en 1543, conçut l'idée heureuse et grandiose du véritable ordre du système planétaire, idée qui l'occupa pendant toute sa carrière de 70 ans et qu'il s'efforça constamment de démontrer par le calcul et l'observation. Il fixa la place du soleil au centre, fit tourner autour de lui toutes les planètes dans l'ordre connu, et il démontra que le mouvement journalier des corps célestes n'était qu'apparent, qu'il est la conséquence de la rotation de notre terre.

On peut juger combien la propagation de cette nouvelle idée sur l'ordre du monde offrait à cette époque de difficultés et même de dangers, par le fait que *Galilée*, physicien italien distingué, qui avait adopté et développé le système de Copernic, fut forcé d'abjurer publiquement le mouvement de la terre, parce que tout le système se trouvait en opposition avec la lettre de quelques passages de l'Écriture sainte.

81. Copernic s'était représenté les orbites des planètes comme des

cercles excentriques dans lesquels le soleil était à quelque distance du centre. Cela était nécessaire pour expliquer les différences de vitesse et d'éloignement du soleil. Malgré cela, il n'était pas encore possible de faire concorder complètement les mouvements avec les observations.

C'est alors qu'apparut le grand *Kepler*, né en 1571 à Weil, dans le Wurtemberg. Profitant de tout ce qui était connu jusqu'alors, et notamment des observations excellentes faites par son contemporain, *Tycho Brahe*, il développa les lois éternellement mémorables qui rendent son mérite sans égal et éternisent son nom. Rien n'est touchant comme l'histoire de cet homme, de ce génie luttant contre les nécessités de la vie, et qui, chassé de lieu en lieu par les calamités de la guerre de Trente Ans, n'emporta jamais rien avec lui que le précieux trésor de ses idées sublimes.

Les lois de *Kepler* consistent en ce qui suit :

82. 1° *Les orbites des planètes sont des ellipses dont le soleil occupe le même foyer commun.*

2° *Chaque planète parcourt en des temps égaux des aires égales, ce que l'on doit entendre ainsi :*

Les surfaces décrites par les rayons vecteurs (§ 13) autour de ce foyer sont proportionnelles aux temps mis à les parcourir.

3° *Les carrés des temps des révolutions des planètes sont entre eux comme les cubes de leurs distances moyennes au soleil.*

A ces considérations théoriques sur le système planétaire, le célèbre *Newton*, né en 1642, mort en 1727, est venu mettre la clef de voûte. C'est de lui qu'est partie l'idée que la cause fondamentale des mouvements des corps célestes réside dans l'attraction mutuelle qui existe entre eux; il la nomma *pesanteur* ou *gravitation*. Il démontra que la force de cette attraction augmente en raison de la masse d'un corps et qu'elle diminue en raison du carré de la distance.

C'est ainsi que s'explique comment toutes les planètes, dont la masse totale est encore loin d'atteindre la masse solaire, sont liées à celle-ci, comme la lune à la terre et les satellites à Jupiter et à Saturne.

83. Lorsqu'on eut, de cette manière, une fois posé des lois, on réussit bientôt à écarter certaines imperfections qui pouvaient encore entacher le système planétaire; car du moment que certains phénomènes ne pouvaient pas être mis d'accord avec la loi, de nouvelles observations venaient bientôt démontrer que les anciennes données étaient incomplètes ou erronées, ou bien de nouvelles découvertes venaient constamment confirmer les lois établies.

C'est ainsi que le grand espace vide entre Mars et Jupiter fit naître l'idée qu'il devait y avoir entre ces astres une planète inconnue, et c'est en conséquence de cela que l'on découvrit les petites planètes *Pallas*,

Juno, *Cérès* et *Vesta*, que l'on considère comme des fragments d'une planète plus grande. Relativement aux *astéroïdes*, découverts dans ces derniers temps seulement, on ne possède encore que très-peu d'indications exactes.

Il est clair que les planètes exercent aussi une attraction mutuelle les unes sur les autres, attraction qui se fait surtout sentir quand elles se trouvent le plus rapprochées. La conséquence en est l'apparition de quelques irrégularités dans la marche des planètes ; on les nomme des *perturbations*, et on en tient compte.

De certaines perturbations inexplicables que subissait Uranus, on conclut fort ingénieusement à l'existence d'une planète plus éloignée, dont on détermina même la position par le calcul, et on découvrit ainsi, par la voie théorique pure, *Neptune*, dont la faible lumière se distingue trop peu d'une petite étoile fixe pour qu'on pût, à une simple inspection au télescope, la reconnaître pour une planète.

Aux noms des explorateurs plus anciens que nous avons cités, et auxquels nous devons les révélations si importantes sur le système planétaire que nous avons fait connaître, nous ajoutons ceux de quelques astronomes plus récents qui se sont acquis de grands mérites par les progrès considérables qu'ils ont fait faire à la science.

Comme tel, nous citerons en premier lieu *Guillaume Herschel*, né en 1758 à Hanovre et mort en 1822. Il se rendit en 1759, en qualité de musicien, en Angleterre, mais ses goûts le portèrent bientôt vers l'astronomie. Ne possédant pas les moyens d'acquérir de grands instruments, il se mit lui-même à confectionner des télescopes à miroirs. Son succès fut tel, qu'il finit par se trouver en possession d'un télescope gigantesque de 40 pieds de longueur, dont la puissance dépassait celle de tous les instruments que l'on possédait jusque-là. Partout où Herschel dirigeait au ciel son regard ainsi armé, il se dévoilait à lui de nouvelles merveilles dont on n'avait aucune idée auparavant. Il doit être considéré comme le véritable fondateur de l'astronomie stellaire. Le télescope, dessiné à la fin de cet ouvrage, et qui n'est plus employé maintenant, a été transformé en un monument commémoratif par le fils d'Herschel, *sir John Herschel*, lui-même astronome distingué.

J. W. Bessel, né à Minden en 1784, travaillait à l'observatoire de *Kœnigsberg*, dont le dessin est en tête de la partie astronomique de cet ouvrage. C'est lui-même qui l'avait fait construire et il y mourut en 1846. Doué d'un talent d'observation extraordinaire, il joignait à cela une connaissance rare de la théorie mathématique, qu'il sut appliquer d'une manière inconnue auparavant, pour tirer, des observations les plus soigneusement établies, des résultats qui surpassaient en exactitude tout ce qui avait été fait avant lui. Il servira sous ce rapport en tout temps de

modèle aux astronomes. Comme exemple de ses travaux, nous avons indiqué, au § 46, la parallaxe d'étoile fixe qu'il a déterminée.

Pour la connaissance des planètes, *Gauss* (mort en 1855 à Gœttingue) s'est acquis de grands mérites, en trouvant une méthode sûre et facile d'en calculer les orbites. Ce n'est que de cette manière qu'il devint possible d'atteindre une exactitude telle, que l'on ne peut pas confondre entre elles les nombreuses petites planètes découvertes dans ces derniers temps.

De la même manière, on doit à *Olbers* (mort à Brême en 1840) la meilleure méthode pour déterminer les orbites des comètes.

§4. Les comètes. De temps en temps on est tout surpris de voir apparaître au ciel, pendant la nuit, des corps lumineux qui se composent d'une partie d'un éclat plus vif, qu'on nomme le *noyau*, et qui est suivie ordinairement, du côté opposé au soleil, d'une *queue lumineuse* s'étendant quelquefois à des millions de lieues et occupant une partie considérable du ciel, comme le représente la fig. 65.

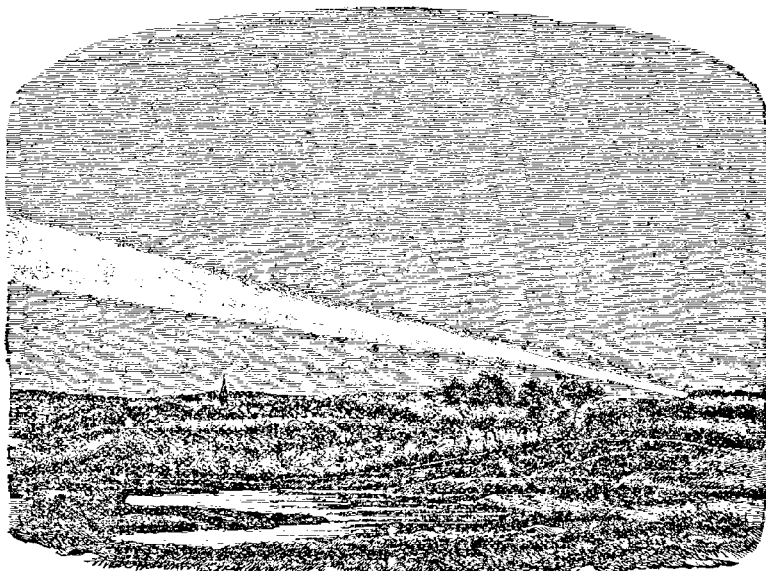


Fig. 65.

Ce sont des *comètes*, dont l'apparition subite et inattendue et la forme extraordinaire ont, de tout temps, jeté la frayeur dans le peuple qui les

considérerait comme des indices et des présages de grands événements, et notamment d'événements terribles et calamiteux. Il n'y a pas très-longtemps encore que l'apparition au ciel d'une comète provoquait une consternation générale.

Mais depuis que les astronomes ont envisagé plus attentivement ces visiteurs irréguliers de notre horizon, on les a fait rentrer également dans l'ordre et la régularité, qui sont imposés aux mouvements de tous les corps célestes.

§ 5. Les comètes se composent, dans tous les cas, d'une masse matérielle, qui reçoit sa lumière du soleil, mais qui est d'une densité si extraordinairement faible, que même son noyau, c'est-à-dire sa partie la plus dense se laisse pénétrer par la lumière d'étoiles fixes éloignées, que l'on peut voir à travers. Il est incontestable que les comètes suivent l'attraction du soleil, car en se rapprochant de celui-ci, leur mouvement devient plus rapide et leur éclat plus vif.

Leurs orbites présentent les mêmes irrégularités apparentes que celles

Comète de 1811.

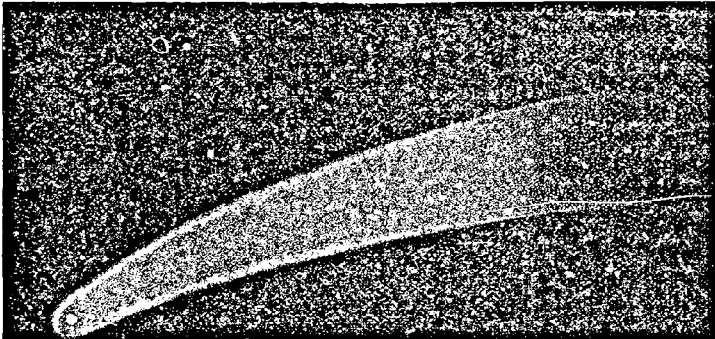


Fig. 66.

que l'on observe quelquefois chez les planètes, seulement à un degré beaucoup plus apparent et avec cette différence, qu'elles ne se meuvent pas seulement dans le plan de l'écliptique, mais qu'elles s'élancent de toutes les directions imaginables de l'espace universel vers le soleil, et s'éloignent ensuite de nouveau de lui. Une comète n'est donc tantôt visible que quelques jours, quelques semaines, tantôt plusieurs mois, et presque jamais pendant très-longtemps. Il n'y a eu que la grande comète de 1811 (voir fig. 66) qui a pu être observée pendant plus d'une année.

Cependant l'observation attentive a démontré que les orbites des comètes, comme celles des planètes, sont des ellipses, mais d'une excentricité si grande, par conséquent tellement allongées, que leur parcours dure chez la plupart au delà de mille ans; ce sont surtout les comètes les plus belles et les plus remarquables, comme celles de 1680, 1811 et d'autres, qui ne reviennent qu'au bout d'un laps de temps de 1500 à 8000 ans.

D'autres comètes, au contraire, reparaissent à des intervalles plus courts. C'est ainsi que *Halley*, *Encke* et *Biela* ont calculé, chacun pour la comète qui porte son nom, l'époque du retour. La première, celle de *Halley*, revient au bout de 75 à 76 ans; la seconde, de *Encke*, au bout de 3 ans et 115 jours et la dernière, de *Biela*, après 6 ans et 270 jours; aussi les a-t-on observées à ces diverses époques.

Pendant l'époque historique, on peut avoir vu environ 500 comètes, mais il n'en est guère que 150 qui aient été astronomiquement observées. Cependant on admet que le nombre des comètes qui se meuvent dans notre système solaire peut atteindre un million, et comme elles se montrent dans toutes les directions de celui-ci, nous ne devons pas nous représenter le domaine du soleil comme un plan circulaire au milieu duquel cet astre se trouve et autour duquel les planètes se meuvent; mais nous devons nous figurer l'espace occupé par notre système solaire, comme de forme sphérique. Si nous voulions le représenter par un modèle, on y arriverait le mieux, en se figurant, placés autour d'un centre commun, une infinité de cerceaux de diamètres différents et inclinés les uns sur les autres dans toutes les directions possible. Pour les cerceaux qui forment l'extrême limite, le diamètre ne serait probablement pas inférieur à 400 diamètres de l'orbite terrestre, par conséquent d'au-delà de 16000 millions de lieues.

§6. Étoiles filantes, aéroolithes et globes de feu. Parmi les corps qui, comme les planètes, se meuvent librement autour du soleil, on range également les *étoiles filantes* et les *aéroolithes* ou *pierres météoriques*. Les premières sont si fréquemment visibles, que dans chaque nuit sereine, où la lune ne luit pas, on est à même d'en observer; nous supposons donc ce phénomène comme suffisamment connu. Il est en outre un fait incontestable, c'est qu'il est tombé de l'extérieur sur la terre des corps d'une nature particulière, qu'on nomme *aéroolithes*.

Les étoiles filantes et les aéroolithes présentent des phénomènes tout à fait semblables, savoir une incandescence subite, une traînée lumineuse et une disparition rapide, de sorte que l'on doit considérer les deux phénomènes comme identiques. Des observations soignées ont prouvé que les étoiles filantes se montrent dans toutes les régions du ciel, qu'elles se

meuvent avec une vitesse qui dépasse la plupart du temps celle de la terre autour du soleil et que leur élévation au-dessus de la surface de la terre est de 20 à 30 lieues géographiques et quelquefois davantage.

On a fait en outre l'observation remarquable, qu'à certaines époques de l'année, surtout au 10 août et 20 novembre, les étoiles filantes se montrent avec une fréquence extraordinaire, et qu'elles partent alors d'un point déterminé du ciel et se meuvent dans une direction déterminée. On admet pour cette raison que ces corps occupent un espace annulaire ou une zone que la terre coupe deux fois dans son parcours annuel. Il reste toujours de la difficulté à expliquer comment ces corps sont en état de s'enflammer à une hauteur où l'atmosphère est extraordinairement raréfiée.

Les *globes de feu*, selon toute apparence, ne sont autre chose que des étoiles filantes avec un développement considérable de lumière.

87. Système du monde. Lorsqu'il fut mis hors de doute que le soleil possédait un mouvement rotatoire sur son axe, il y avait à supposer qu'il faisait en même temps un mouvement progressif. Des observations établies à cette fin ont démontré qu'il en était réellement ainsi, et que le soleil se porte vers un point du ciel situé dans la constellation d'*Hercule*. Mais son orbite est d'une dimension tellement considérable, qu'une progression du soleil ne peut s'apercevoir qu'au bout d'une très-longue série d'années, d'autant plus que tous les corps appartenant au système solaire doivent suivre le soleil dans son parcours.

Il existerait en conséquence un autre point autour duquel tout notre système solaire tourne, comme Jupiter avec ses satellites autour du soleil.

Des regards plus étendus dans le monde des étoiles fixes amènent la conviction que celui-ci se compose de systèmes qui ressemblent en partie à notre système solaire, et qui consistent en partie en deux étoiles situées à petite distance l'une de l'autre, et se mouvant autour de leur centre de gravité commun. On les nomme *étoiles doubles*, et on en a déjà observé jusqu'ici avec assez d'exactitude au delà de 4,000.

John Herschel s'est formé, sur le domaine dans lequel notre terre forme un petit grain de poussière, l'idée suivante :

Le système solaire constitue une partie d'un système d'un ordre plus élevé, qui aurait dans son ensemble la forme d'une lentille (fig. 67). Nous-mêmes, nous nous trouvons à peu près au milieu de l'espace occupé par des systèmes solaires, environ à la place du petit cercle

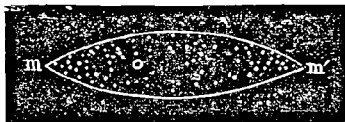


Fig. 67.

qui représente notre système solaire. Il est évident que le ciel doit nous paraître moins rempli d'étoiles quand nous regardons vers la voûte supé-

rieure ou inférieure de cet espace étoilé, que si nous regardions dans la direction des bords *m m'*. Dans ce cas, nous voyons à travers une couche d'étoiles d'une grande profondeur, de sorte que les étoiles placées les unes derrière les autres forment une traînée lumineuse serrée, qui nous entoure, et que nous avons déjà mentionnée sous le nom de *voie lactée*, § 47. Il est bon cependant d'observer que l'opinion que nous venons de développer sur l'arrangement de notre système solaire n'est nullement à l'abri de contestation.

SS. Mais ces *taches nébuleuses* qui reluisent dans notre firmament d'étoiles, ces places claires dans le ciel, dont quelques-unes, à l'aide des plus puissants télescopes, se résolvent en une multitude de groupes d'étoiles (par exemple, la tache nébuleuse représentée dans la fig. 68, et qui se trouve dans la constellation d'*Hercule*); tandis que d'autres ne peuvent pas se résoudre en étoiles, ne seraient-ce pas également des

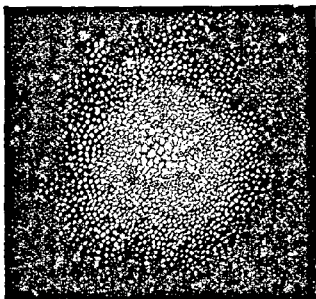


Fig. 68.

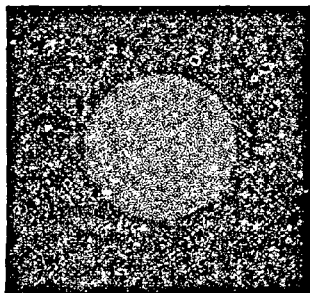


Fig. 69.

voies lactées appartenant à d'autres régions étoilées? Ces taches nébuleuses arrondies, indissolubles, dont la fig. 69 nous montre un exemple, seraient-elles des groupes de mondes d'étoiles situées à une distance infinie, ou bien, se composent-elles de matière vaporeuse, comme celle des comètes, de la condensation de laquelle il se formerait insensiblement de nouveaux corps célestes?

Quand nous réfléchissons que les étoiles fixes les plus rapprochées sont éloignées de nous de plus de 200000 rayons de la terre, distance que la lumière ne pourrait parcourir qu'en trois années, il est admis qu'il faudrait à celle-ci au moins 20000 ans pour parvenir des taches nébuleuses les plus éloignées à notre œil, ce qui donne une distance de 33000 billions de lieues.

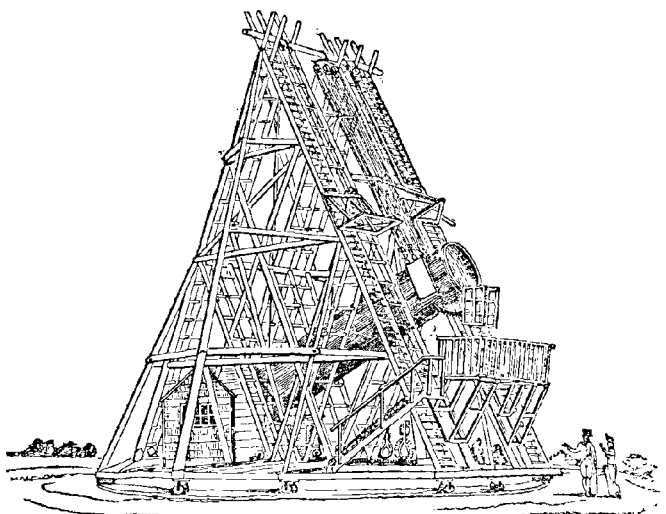
C'est ainsi que du petit observatoire de notre terre, où nous a placés

une main toute-puissante, nous nous sommes élevés d'un regard hardi vers l'idée du système solaire; celui-ci lui-même, nous l'avons incorporé dans un système d'un ordre supérieur, et nous devons avouer que ce dernier même ne constitue qu'une partie d'un tout infini. Depuis longtemps, nous nous trouvons hors des limites de ce qui est compréhensible et de tout ce que l'imagination est capable de concevoir.

Partout, tandis que cette image se déroule, la Divinité nous apparaît face à face et nous nous écrions avec le prophète Esaïe :

« Élevez vos yeux en haut et regardez : Qui a créé de telles choses ? »

(ESAÏE, 40, 26.)



TÉLESCOPE GÉANT DE HERSCHEL.

TABLE DES MATIÈRES.

ASTRONOMIE.

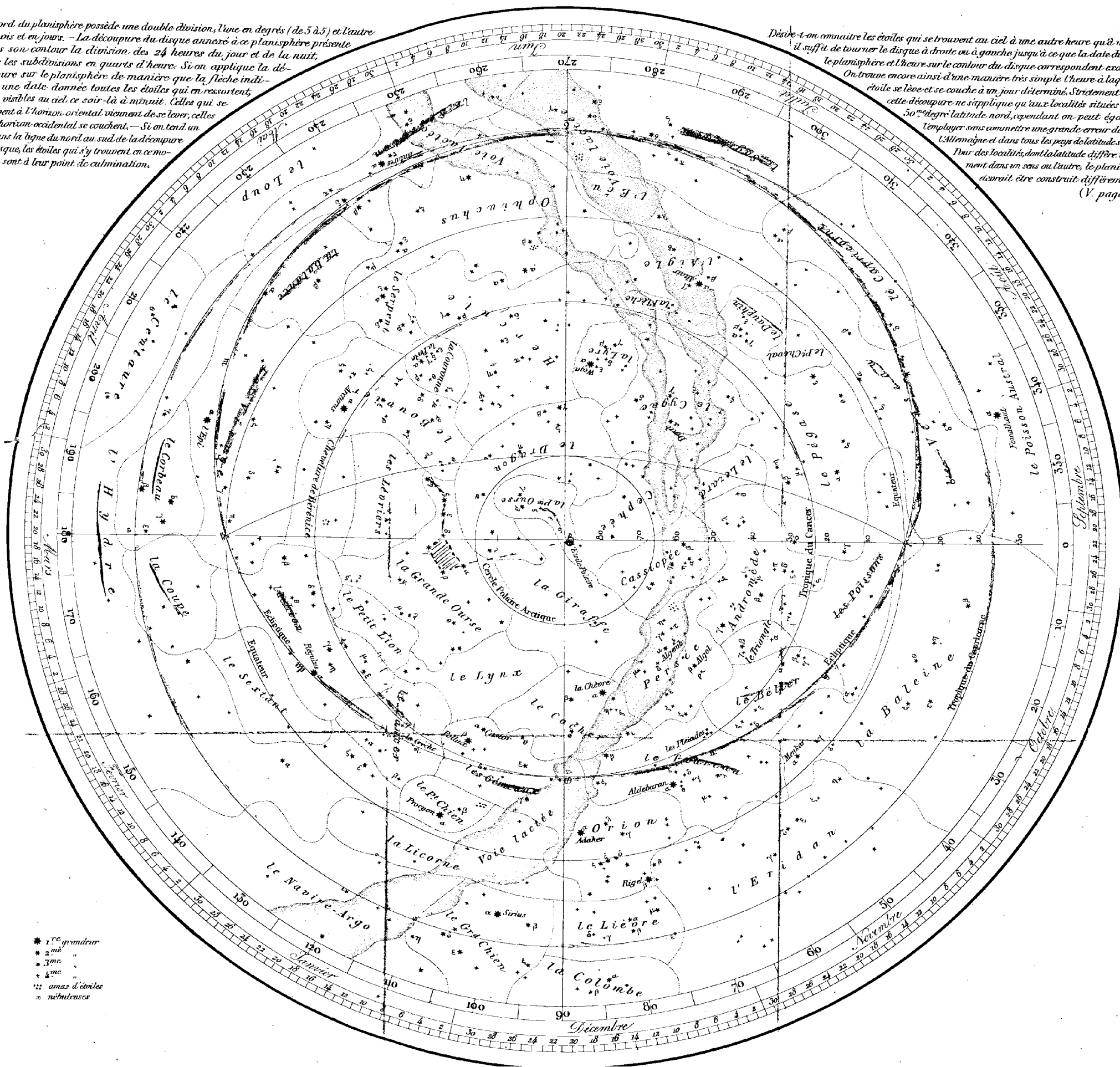
	PAGES.
INTRODUCTION. §§ 1-7.	219
I. NOTIONS PRÉLIMINAIRES POUR L'OBSERVATION ASTRONOMIQUE. §§ 8-22. 223	
Angles, 223. Cercle, 228. Sphère, 229. Ellipse, 229. Parabole, 230. Mesurage. Tableau des mesures, 231. Distance. Échelle de réduction, 232. Détermination des distances, 233. Mesurage trigonométrique, 235. Distance et grandeur des corps célestes, 236.	
II. PHÉNOMÈNES ASTRONOMIQUES GÉNÉRAUX. 239	
A. La terre. §§ 23-26 <i>ib.</i>	
Forme, 239. Étendue, 240. Division, 240.	
B. Division du ciel. §§ 27-44 243	
Horizon sensible et rationnel, 245. Mouvement apparent des corps célestes, 246. Phénomènes pendant le jour, 248. Écliptique, 250. Phénomènes pendant la nuit, 250. Hauteur polaire, 252. Distance zénithale. Azimut, 254. Méridien, 255. Équateur, 256. Le globe céleste, 257.	
C. Division des corps célestes. §§ 45-50 260	
Les étoiles fixes, 261. Le ciel étoilé visible en Europe, 262. Constellations de l'écliptique, 263.	

	PAGES.
III. PHÉNOMÈNES ASTRONOMIQUES PARTICULIERS	267
Soleil et terre. §§ 51-62	<i>ib.</i>
Position de l'axe terrestre par rapport au plan de l'orbite, 272. Équinoxes et solstices, 275. Climats et saisons, 277. Le zodiaque, 278. Équation du temps, 281.	
Terre et lune. §§ 63-64	284
Soleil, terre et lune. §§ 65-72.	287
Phases de la lune, 287. Calendrier, 290. Marées, 292. Éclipses, 294. Éclipse de lune, 294. Éclipse de soleil, 295.	
Les planètes et le système planétaire. §§ 73-83.	296
Les comètes. §§ 84-85.	308
Étoiles filantes. Aérolithes et globes de feu. §§ 86.	310
Système du monde. Étoiles doubles. Nébuleuses. §§ 87-88	311

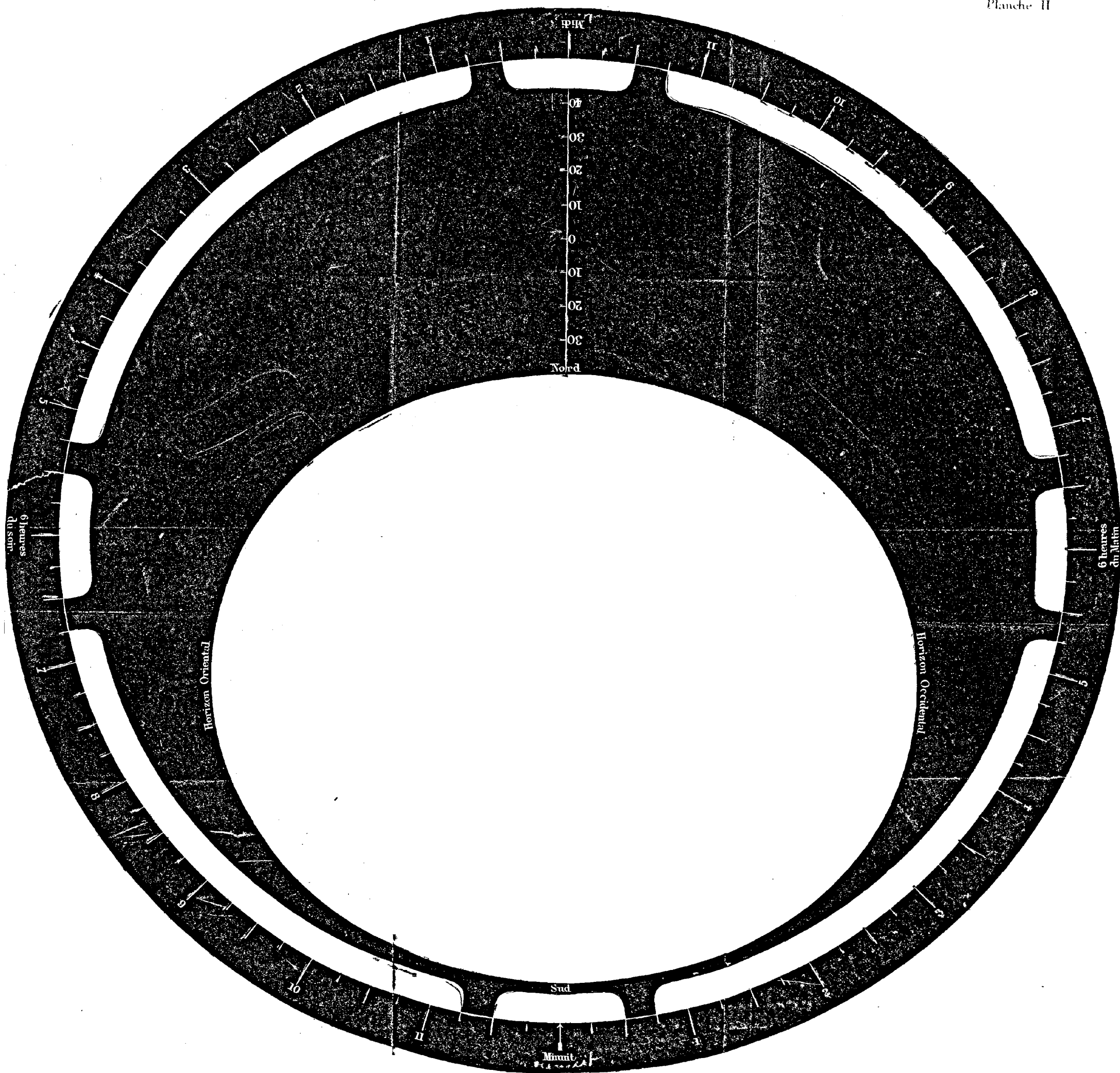
LE CIEL ÉTOILÉ VISIBLE DANS LE MILIEU DE L'EUROPE.

Le bord du planisphère possède une double division, l'une en degrés (de 5 à 5) et l'autre en mois et en jours. — La découpe du disque annexé à ce planisphère présente dans son contour la division des 24 heures du jour et de la nuit, avec les subdivisions en quarts d'heure. Si on applique la découpe sur le planisphère de manière que la flèche indiquée une date donnée toutes les étoiles qui en ressortent, sont visibles au ciel ce soir-là à minuit. Celles qui se trouvent à l'horizon oriental viennent de se lever, celles de l'horizon occidental se couchent. — Si on tend un fil dans la ligne du nord au sud de la découpe du disque, les étoiles qui s'y trouvent en ce moment sont à leur point de culmination.

Désire-t-on connaître les étoiles qui se trouvent au ciel à une autre heure qu'à minuit ? il suffit de tourner le disque à droite ou à gauche jusqu'à ce que la date du jour sur le planisphère et l'heure sur le contour du disque correspondent exactement. On trouve encore ainsi d'une manière très simple l'heure à laquelle une étoile se lève et se couche à un jour déterminé. Strictement parlant cette découpe ne s'applique qu'aux localités situées sur le 50^e degré latitude nord, cependant on peut également l'employer sans commettre une grande erreur dans toute l'Allemagne et dans tous les pays de latitude semblable. Pour des localités dont la latitude diffère notablement dans un sens ou l'autre, le planisphère devrait être construit différemment. (V. page 264.)



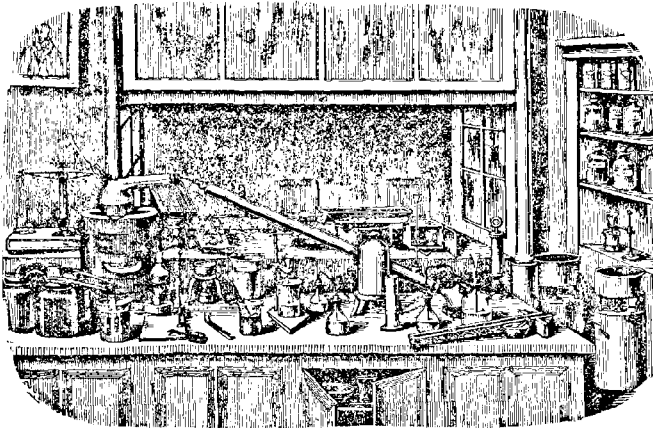
* 1^{re} grandeur
 * 2^{me} "
 * 3^{me} "
 + 4^{me} "
 :::: amas d'étoiles
 x nébuleuses



LE
LIVRE DE LA NATURE



CHIMIE



CHIMIE.

Car lui-même m'a donné la vraie science de tout ce qui est, afin que je reconnaisse l'ordre du monde et la force des éléments.

SAGESSE DE SALOMON, VII, 17.

INTRODUCTION.

1. La chimie est la science qui s'occupe de cette espèce de phénomènes qui produisent une modification essentielle dans les corps sur lesquels ils s'observent ou qui servent à leur production.

Un morceau de charbon ou un morceau de bois qui brûle, une barre de fer qui se rouille, subissent effectivement pendant ces phénomènes des modifications tellement importantes, qu'ils ont totalement perdu leurs propriétés primitives. Lorsque dans le cours d'un phénomène chimique un corps disparaît totalement, il en apparaît un autre à sa place possédant d'autres propriétés, et formant un corps nouveau. C'est là un caractère important propre à tous les phénomènes chimiques. La rouille en laquelle le fer se transforme, diffère essentiellement du fer lui-même.

Cependant, pour comprendre plus facilement et plus exactement les modifications qu'un corps peut subir, il convient d'étudier préalablement les propriétés de ce corps. La chimie considère donc d'abord les matières en elles-mêmes, ainsi que les modifications chimiques qu'elles éprouvent et les corps pourvus de propriétés nouvelles qui en résultent; enfin, elle cherche aussi à démontrer les lois qui régissent ces phénomènes.

2. L'examen chimique d'un corps diffère considérablement de l'examen de ce corps au point de vue de l'histoire naturelle ou de la physique. Lorsque nous considérons des minéraux, des plantes et des animaux au point de vue de l'histoire naturelle, ce sont dans les premiers la forme cristalline, la dureté, la densité; dans les derniers la forme, la structure du corps, le développement et la manière de vivre qui attirent particulièrement notre attention.

La chimie, par contre, s'occupe de la matière. De quelle nature est celle-ci? quelles sont ses propriétés? Comment réagit-elle sur d'autres matières et quelles influences subit-elle de la part de celles-ci? Telles sont les questions que se pose le chimiste.

Il marche sous ce rapport quelque peu d'accord avec le physicien. Celui-ci aussi considère la matière et cherche à en déterminer les propriétés, puisque déjà le § 7 de la *Physique* nous renseigne sur les propriétés générales de la matière. Mais les considérations physiques diffèrent cependant des considérations chimiques. Le physicien n'envisage une matière donnée qu'en elle-même d'après ses caractères extérieurs; il se contente d'établir l'état d'agrégation, la densité d'un corps, la manière dont la chaleur, la lumière et l'électricité influent sur lui: il ne s'occupe pas du reste.

Prenons un corps connu, le soufre par exemple, et voyons, par une courte description séparée de ses caractères *physiques* et *chimiques*, en quoi l'une et l'autre diffèrent.

Propriétés physiques du soufre. Le soufre est un corps solide, cristallisable, de couleur jaune, inodore; sa densité est 2, il fond à 114° cent. et se transforme en vapeurs à 400° cent.; il s'électrise par le frottement, il ne conduit pas l'électricité.

Propriétés chimiques du soufre. Il est insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther, les huiles grasses et volatiles; il est soluble dans le sulfure de carbone; chauffé à l'air, il brûle avec une flamme bleue en dégageant des vapeurs étouffantes; combiné à l'hydrogène, il forme un gaz fétide; avec les alcalis, le foie de soufre; avec les métaux *pesants*, des sulfures métalliques, insolubles, vivement colorés, etc.

Nous reconnaissons partout dans cette dernière description comment le soufre se comporte, non pas par rapport à lui-même, mais par rapport à une seconde matière. Dans tous ces cas, les matières indiquées ont une telle influence que le soufre, comme tel, disparaît à nos sens, et qu'il naît toute une série de corps possédant des caractères et des noms nouveaux, dans lesquels le chimiste a précisément pour tâche et pour but de poursuivre le soufre.

3. Nous nous servirons encore d'un autre exemple pour faire ressortir davantage les particularités d'un phénomène chimique, en choisissant

pour cela, autant que possible, des matières connues. On fait fondre, dans ce que l'on nomme un tube à essai (fig. 1), un morceau de soufre, puis on y ajoute une goutte de mercure ;

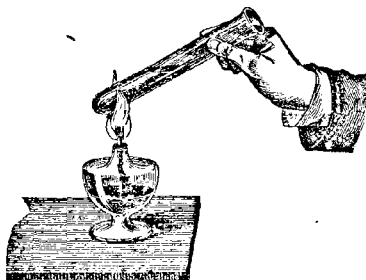


Fig. 1.

il y a action réciproque violente des deux matières, en vertu de laquelle il se forme une masse noire. Lorsqu'on chauffe celle-ci au rouge, elle se volatilise et se dépose un peu plus haut sous forme d'anneau. On casse le tube pour en tirer le produit, qui possède maintenant une couleur rouge très-foncée d'un aspect cristallin luisant et qui triturée prend une belle couleur d'un

rouge vif, connue sous le nom de *cinabre*. Quand on le fabrique en grand, il y entre 16 parties en poids de soufre sur 100 parties de mercure.

Que s'est-il donc passé ici ? Le soufre et le mercure ont disparu ; il est apparu un nouveau corps, différant dans ses caractères des matières qui ont servi à le former ; nous avons évidemment affaire ici à un phénomène chimique.

Si nous demandons ensuite : Que sont donc devenus le soufre et le mercure ? Examinons le cinabre le plus minutieusement possible, prenons-en la plus fine poussière, mettons-la sous la loupe ou sous le meilleur microscope : nous n'y découvrons plus une trace de soufre ou de mercure ; il semble que ces deux matières, en se transformant en une matière nouvelle, ont cessé d'exister.

Cependant il n'en est nullement ainsi, comme nous allons le voir en continuant l'expérience. Si l'on mélange une toute petite quantité de cinabre avec autant de fine limaille de fer et qu'on chauffe le mélange dans un tube à essai, il se forme aussitôt, dans la partie supérieure du tube, un anneau brillant qui n'est composé que de petits globules de mercure. Le mercure n'avait donc pas cessé d'exister dans le cinabre : ce n'était que passagèrement qu'il avait pris en communauté avec le soufre, des caractères différents. Ce dernier corps également n'a pas cessé d'exister, car, en continuant l'expérience, nous pourrions nous convaincre qu'il serait facile d'isoler de nouveau le soufre de cette masse noire qui, lors de l'échauffement du mélange ci-dessus, est restée au fond de l'éprouvette.

4. Combinaison chimique. Lorsque, comme dans l'exemple que nous venons de citer, il est résulté du contact et de l'action réciproque de différentes matières un corps nouveau, on dit que ces matières se sont *combi-*

nées chimiquement ou qu'elles ont formé une *combinaison chimique*. Comme nous avons vu ensuite que ces matières n'ont pas cessé d'exister dans la combinaison, on les nomme *éléments chimiques* de celle-ci. On dit par conséquent : Le cinabre est une combinaison chimique, ses éléments sont le soufre et le mercure.

Ici nous devons expressément faire ressortir la différence entre une *combinaison chimique* et un *simple mélange*. Ce dernier se reconnaît soit à l'œil nu, soit à l'aide d'un microscope. Que nous réduisions de la craie ou du charbon en poudre aussi ténue que possible, que nous mélangions ces poudres de la manière la plus intime, l'œil armé de la loupe n'en distinguera pas moins facilement toutes les particules de craie de celles de charbon ; ou bien, si nous jetons ce mélange dans l'eau, le charbon, en vertu de son poids spécifique moindre, surnagera, tandis que la craie, plus pesante, ira au fond ; car dans des mélanges les matières conservent tous leurs caractères. C'est pourquoi, même des mélanges de liquides ou de gaz, que l'œil ne peut pas distinguer, se reconnaissent à l'odeur, à la saveur ou à d'autres caractères.

5. Analyse chimique. De très-bonne heure, les efforts des chimistes se portèrent à rechercher quels étaient les éléments qui entraient dans la composition des différentes matières qui se trouvent dans la nature. Leurs travaux avaient pour but de décomposer les matières en éléments et de séparer ceux-ci les uns des autres; aussi la chimie porte-t-elle en Allemagne le nom de « Scheidekunst » (art de séparer). On désigne aujourd'hui par le nom d'*analyse chimique* l'acte qui a pour but de séparer des matières combinées. On distingue ensuite l'*analyse qualitative*, qui recherche de quels éléments un corps se compose, et l'*analyse quantitative*, qui détermine la quantité de chaque élément qui se trouve dans une combinaison.

6. Corps simples. L'analyse chimique démontre que la grande majorité des corps que nous connaissons sont des combinaisons chimiques. Mais, chose remarquable, les chimistes rencontrèrent cependant aussi certains corps qu'ils ne parvinrent d'aucune manière à décomposer en d'autres corps. Tel est, par exemple, le soufre. On l'a soumis à des essais innombrables, mais aucun ne démontra que dans un gramme de soufre il se trouve ne fût-ce qu'un milligramme d'une autre matière. Il en est de même d'une série d'autres corps, qu'on a nommés pour cette raison *corps simples, corps primitifs, élémentaires*, ou bien *éléments chimiques*.

Mais le travail du chimiste ne se borne pas à la simple séparation des matières combinées. Il a aussi pour but de combiner chimiquement des matières entre elles, de former des combinaisons, et les produits artificiels obtenus de cette manière se nomment des *préparations chimiques*.

Il y a donc deux voies différentes pour se renseigner sur la nature d'une

matière, d'abord en essayant de la décomposer en plusieurs matières, et ensuite en cherchant à la composer de différentes matières. Ce dernier procédé se désigne sous le nom de *synthèse*.

Nous disons par conséquent : *Les corps simples ou les éléments chimiques sont ceux qu'on ne peut ni décomposer en matières différentes, ni recomposer de matières différentes.*

7. On connaît jusqu'aujourd'hui soixante-quatre corps simples. Parmi ceux-ci il en est qui offrent peu d'importance, parce qu'ils ne se rencontrent que fort rarement dans la nature ; aussi nous bornerons-nous à citer le nom de ces derniers ; quant aux autres corps simples qui se rencontrent plus fréquemment, nous en donnons la liste dans le tableau qui va suivre, où nous les classons en même temps d'après certains caractères.

La plupart des corps simples sont brillants et se nomment *métaux*. Ceux qui ne possèdent pas ce caractère se nomment *corps non métalliques* ou *métalloïdes*. Les métaux se divisent en métaux de peu de densité ou légers et en métaux de densité considérable ou pesants.

On a donné à chaque corps simple un *symbole chimique*, tiré de la première lettre de son nom latin, en ajoutant quelquefois une autre lettre du même nom, pour le distinguer d'un autre corps qui a la même initiale. On a également découvert pour chaque corps un chiffre, qui exprime la proportion de poids dans laquelle ce corps se combine avec les autres corps simples. Ces symboles et ces chiffres ont été ajoutés dans le tableau suivant, qui indique les corps simples les plus importants.

TABLEAU DES CORPS SIMPLES.

I. MÉTALLOÏDES.			II. MÉTAUX.					
1. Oxygène....	O	8	1. Légers.		2. Pesants.			
2. Hydrogène..	H	1	14. Potassium...	K	39	21. Fer.....	Fe	28
3. Azote.....	N ou Az	44	15. Sodium....	Na	23	22. Manganèse..	Mn	27
			16. Calcium ...	Ca	20	23. Chrome.....	Cr	26
4. Soufre.....	S	16	17. Barium....	Ba	68	24. Cobalt.....	Co	50
5. Chlore.....	Cl	35	18. Strontium..	Sr	43	25. Nickel.....	Ni	29
6. Brome.....	Br	80	19. Magnesium..	Mg	12	26. Zinc.....	Zn	32
7. Iode.....	I	127	20. Aluminium..	Al	15	27. Étain.....	St	58
8. Fluor.....	Fl	19				28. Plomb.....	Pb	103
9. Phosphore..	Ph	31				29. Bismuth....	Bi	104
10. Arsenic....	As	75				30. Antimoine..	Sb	120
11. Carbone... C	C	6				31. Cuivre.....	Cu	31
12. Silicium... Si	Si	21				32. Mercure....	Hg	100
13. Bore.....	B	11				33. Argent.....	Ag	108
						34. Or.....	Au	196
						35. Platine.....	Pt	99

Les noms des corps simples plus rares sont : Le Glucinium, le Cadmium, le Cerium, le Cœsium, le Didyme, l'Erbium, l'Indium, l'Iridium, le Lanthane, le Lithium, le Molybdène, le Niobium, l'Osmium, le Palladium, le Rhodium, le Nubidium, le Ruthenium, le Sélénium, le Columbiun ou Tantale, le Tellure, le Terbium, le Thallium, le Thorium, le Titane, l'Uranium, le Vanadium, le Wolfram ou Tungstène, l'Yttrium, le Zirconium.

Les symboles chimiques annexés au tableau ci-dessus offrent de grands avantages, parce qu'ils permettent d'être très-bref dans la désignation des combinaisons chimiques. C'est ainsi, par exemple, que *S* signifie le soufre, *Hg* le mercure. Quand on met les deux signes l'un à côté de l'autre, ainsi *HgS*, on entend par là la combinaison de ces deux corps ou le *cinabre*.

8. **Affinité chimique.** La force qui détermine les corps différents à se combiner chimiquement entre eux se nomme *affinité*. Cette force, inhérente à tous les corps, est une espèce d'attraction mutuelle; c'est elle qui effectue toute combinaison intime. L'expression d'*affinité* a en chimie un tout autre sens qu'en botanique et en zoologie, où elle est d'autant plus grande, que les plantes ou les animaux ont plus de ressemblance entre eux. En chimie, ce sont précisément les corps les plus semblables qui ont entre eux le moins d'affinité; la plus grande affinité au contraire a lieu entre les corps les plus dissemblables.

Les différentes matières manifestent les unes pour les autres des degrés bien variables d'affinité. En effet si toutes les matières qui se trouvent sur terre exerçaient les unes sur les autres une affinité également grande, elles devraient toutes se combiner en une matière unique et uniforme, et nous ne connaîtrions pas de matières différentes. On a très-souvent l'occasion d'observer ces degrés inégaux d'affinité. Lorsqu'on chauffe de l'étain, par exemple, à l'air libre, il se combine avec l'oxygène de celui-ci; le plomb et le cuivre font de même. Mais l'or et l'argent, on peut les chauffer aussi longtemps qu'on veut sans qu'ils subissent de modification: ils ont peu d'affinité pour l'oxygène.

Lorsqu'à du cinabre, qui est une combinaison de soufre et de mercure, on ajoute de la limaille de fer et qu'on chauffe, le soufre se sépare du mercure, comme nous l'avons vu au § 3, et se combine avec le fer. On dirait que le soufre préfère le fer au mercure; aussi a-t-on désigné de telles manifestations de l'affinité sous le nom d'*affinité élective*. Nous en rencontrerons un grand nombre d'exemples.

9. Jusqu'à présent nous ne pouvons pas expliquer pourquoi un corps a plus d'affinité pour tel corps que pour un autre. Quelques-uns des corps simples que nous avons nommés, l'oxygène et le

chlore, par exemple, manifestent une attraction chimique très-forte envers presque tous les autres éléments, tandis que d'autres, comme l'azote, le platine par exemple, ne témoignent que fort peu de tendance à se combiner. Tout ce que l'on sait sous ce rapport est dû uniquement à l'observation.

Il est cependant nécessaire d'observer que dans les phénomènes chimiques, on ne doit pas se figurer que l'affinité en soit la cause exclusive ; d'autres forces naturelles agissent en même temps, telles que la pesanteur, la cohésion, l'adhésion, la chaleur, la lumière, l'électricité et le magnétisme. Selon la prédominance de l'une ou l'autre de ces forces concomitantes, le résultat des opérations chimiques peut être très-différent, de sorte que les principes fondamentaux qui guident l'action de l'affinité chimique sont très-bornés. Nous ne poserons que les trois principes suivants :

1. *L'affinité chimique n'exerce son attraction qu'à de très-faibles distances ; les matières ne peuvent donc exercer d'action chimique entre elles que lorsqu'elles sont en contact immédiat.*

Une couche infiniment légère de graisse ou de vernis suffit pour préserver le fer de l'influence de l'oxygène de l'air et par conséquent de la rouille.

2. *Lorsque deux corps sont combinés chimiquement, ils persistent dans cet état jusqu'à ce qu'une cause, agissant du dehors, vienne le suspendre et séparer les éléments combinés.*

Il s'entend que dans ce cas le corps composé disparaît en même temps que ses caractères, et qu'à sa place apparaissent ses éléments avec leurs caractères propres. On désigne ce phénomène en disant : *La combinaison est décomposée.*

3. *Comme la combinaison chimique des corps consiste en tout cas dans une pénétration mutuelle extrêmement intime et dans une apposition de leurs molécules les plus ténues, la production des combinaisons chimiques est également plus facile lorsque toutes les parties des corps qui doivent agir les uns sur les autres sont mobiles, ainsi lorsqu'on fait agir les corps les uns sur les autres à l'état liquide ou gazeux.*

On aura par conséquent soin de mettre deux corps qui doivent réagir chimiquement l'un sur l'autre en un contact aussi intime que possible ; on les réduira tous les deux ou l'un des deux au moins à l'état liquide ou gazeux, soit par la dissolution, soit par la chaleur. En ce sens, on fait dans les opérations chimiques le plus grand usage de l'eau et de la chaleur. Cependant, chez certains corps gazeux la mobilité convenable des parties paraît être outre-passée, de sorte que les molécules se trouvent à des distances tellement grandes les unes des autres, que l'attraction chimique ne peut plus agir sur elles. Dans ce cas, on a recours à la condensa-

tion, par exemple à la compression des gaz, pour former des combinaisons; car de cette manière on rapproche les molécules.

10. Lorsque nous considérons l'influence d'autres forces sur l'affinité chimique, elle nous paraît quelquefois vraiment énigmatique. Ainsi dans certaines circonstances, des causes purement mécaniques, par exemple, de légères secousses suffisent pour amener une combinaison chimique ou bien pour effectuer la décomposition. On voit même parfois que c'est le simple contact d'un certain corps qui provoque des phénomènes chimiques (*effet de contact*). C'est ainsi, par exemple, que l'argent fulminant est décomposé instantanément par un léger choc; l'alcool mis en contact avec de la poudre fine de platine se transforme en acide acétique.

C'est surtout l'influence de la *lumière* sur les actions chimiques qui est inexplicable. Un assez grand nombre de combinaisons, qui à l'abri de la lumière demeurent invariables, se décomposent instantanément sous son influence. Cet effet de la lumière est d'autant plus singulier, que la lumière du soleil, celle des bougies, voire même les différentes couleurs de la lumière, exercent les influences les plus différentes. C'est sur ce principe que sont basés les résultats obtenus par la photographie. Mais, d'un autre côté, la lumière détermine aussi la production de combinaisons chimiques.

L'influence de l'électricité sur les combinaisons chimiques est générale et s'étend à tous les corps. Il n'y a guère de combinaison chimique qui, soumise à l'influence prolongée d'un courant électrique, ne se décompose pas. Il semble que les deux espèces d'électricités qui apparaissent aux deux pôles de l'appareil électrique disjoignent avec une force irrésistible les corps combinés. Mais l'électricité n'en est pas moins un auxiliaire pour effectuer des combinaisons chimiques; car il suffit souvent de communiquer à un corps une certaine électricité, pour amener sa combinaison avec un certain autre corps, qui ne se serait pas effectuée sans ce concours.

L'influence de la *chaleur* sur les actions chimiques est encore celle dont on peut se faire l'idée la plus claire. Car d'un côté elle diminue la cohésion des corps, qui forme toujours un obstacle aux actions chimiques, et favorise de cette manière dans une foule de cas les combinaisons; d'un autre côté, l'augmentation constante de la chaleur dilate de plus en plus, de sorte qu'à la fin les matières combinées par l'affinité se séparent l'une de l'autre et que la combinaison chimique se décompose. La calcination de la chaux est un exemple de ce dernier mode d'action de la chaleur. Un corps gazeux, l'acide carbonique, qui est contenu dans la pierre calcaire, suit, à la chaleur rouge du feu, sa tendance croissante à la dilatation et abandonne la pierre.

11. Les équivalents chimiques. Lorsqu'on poursuit attentivement, et la balance à la main, un certain nombre de phénomènes chimiques, il

se manifeste aussitôt certaines lois d'une extrême importance, qui constituent la base de la chimie.

Si je décompose, par exemple, 116 parties, soit 116 grammes de cinabre, j'en obtiens 100 grammes de mercure et 16 grammes de soufre ; si je décompose 57 grammes de cinabre, je découvre qu'il s'y trouve 51,8 grammes de mercure et 5,2 grammes de soufre. Or, ces derniers chiffres se rapportent exactement comme 100 : 16. Bref, que j'examine une quantité quelconque de cinabre, je trouve que mercure et soufre y sont toujours dans le rapport de 100 : 16. Il pourrait cependant arriver qu'on y trouvât une proportion différente, mais alors il est certain qu'on n'a pas affaire à du cinabre pur : il est peut-être falsifié avec une autre couleur rouge, par exemple, du minium. Qu'on recherche cette matière étrangère, qu'on la sépare, et on trouvera certainement alors que le cinabre possède la composition indiquée.

Il n'y a pas là, à la vérité, de quoi nous surprendre, puisque dans le § 3 nous avons dit que pour la fabrication du cinabre on employait du mercure et du soufre dans le rapport de 100 : 16. Il est par conséquent bien naturel qu'on retrouve constamment les mêmes proportions.

Mais pourquoi dans la préparation du cinabre prend-on précisément ces matières aux poids indiqués ? Pourquoi ne prend-on pas un peu plus de soufre, qui est beaucoup meilleur marché que le mercure ? Si l'on voulait effectivement l'essayer, et si l'on prenait, par exemple, sur 100 grammes de mercure environ 24 grammes de soufre, il n'y aurait jamais que 16 grammes de ce dernier qui se combineraient au mercure : les 8 grammes restants se volatiliserait ou seraient brûlés. Il se passerait quelque chose d'analogue si l'on augmentait la quantité de mercure au delà de la proportion indiquée.

On est donc bien fondé à exprimer ce fait établi par la loi suivante :

Le mercure et le soufre se combinent chimiquement dans la proportion invariable de 100 parties (en poids) de mercure sur 16 parties (en poids) de soufre.

Mais cette loi prend aussitôt un caractère bien plus général si l'on y ajoute que tous les autres corps simples, en se combinant chimiquement, le font également en proportions de poids bien déterminées. Ainsi l'eau, ce corps connu partout, est une combinaison de 8 parties d'oxygène avec une partie d'hydrogène : on ne trouvera jamais dans l'eau pure une autre composition. D'une manière tout aussi invariable, le sel de cuisine se compose de 23 parties de sodium et de 35 parties de chlore. Des exemples innombrables de ce genre ont permis d'établir la loi chimique fondamentale suivante :

Les corps simples se combinent entre eux dans des proportions de poids déterminées et invariables.

12. Nous avons mentionné au § 3 qu'en chauffant un mélange de cinabre et de limaille de fer, le premier était décomposé. En étudiant ce phénomène avec la balance, on observe que pour décomposer 116 grammes de cinabre, il faut 28 grammes de fer, qui se combinent avec les 16 grammes de soufre contenu dans le cinabre et forment 44 grammes de sulfure de fer, tandis que 100 grammes de mercure sont mis à nu.

Ce qu'il y a de remarquable dans ce fait, c'est que pour cette décomposition il n'a pas fallu 100 grammes de fer pour remplacer les 100 grammes de mercure, mais que 28 grammes de fer aient suffi pour remplacer un poids presque quadruple de mercure et pour former, en se combinant avec les 16 grammes de soufre, du sulfure de fer. Par rapport à l'affinité chimique de 16 parties en poids de soufre, 28 parties de fer ont la même valeur que 100 parties de mercure, car elles lient la même quantité de soufre: les quantités de poids indiquées pour les deux métaux ont donc sous ce rapport *la même valeur* entre elles, ou, autrement dit, elles sont *équivalentes*. En recherchant ensuite quelle est la quantité d'un autre métal nécessaire pour se combiner chimiquement avec 16 parties de soufre, on trouve que pour le plomb, par exemple, la quantité nécessaire ou équivalente est de 103 parties.

Nous pouvons démontrer des proportions tout à fait analogues par rapport à un autre élément, savoir, l'oxygène. Examinons ses combinaisons avec le plomb, le mercure et l'hydrogène :

Parties (en poids).		Parties (en poids).	
Plomb.....	103	Mercure.....	100
Oxygène.....	8	Oxygène.....	8
a) Oxyde de plomb.....		b) Oxyde de mercure.....	
	111		108
Parties (en poids).			
			1
			8
c) Eau.....			
			9

Au moyen d'opérations chimiques appropriées, on peut séparer dans ces trois composés le plomb, le mercure et l'hydrogène de l'oxygène, et mettre à la place de celui-ci du soufre. On obtient alors des combinaisons composées comme suit :

Parties.		Parties.	
Plomb.....	103	Mercure.....	100
Soufre.....	16	Soufre.....	16
d) Sulfure de plomb.....		e) Sulfure de mercure ou cinabre.....	
	119		116
Parties.			
			1
			16
f) Hydrogène sulfuré.....			
			17

Un fait frappant qui se remarque ici, c'est que le plomb, le mercure et l'hydrogène se trouvent combinés avec le soufre dans les mêmes proportions de poids, savoir : 103, 100, 1, qui existaient dans leur combinaison avec l'oxygène. Comparons la série des combinaisons oxygénées (*a, b, c*), avec celle des combinaisons sulfurées (*d, e, f*), nous ne trouvons d'autre différence, si ce n'est que dans la seconde série 16 parties de soufre viennent chaque fois remplacer 8 parties d'oxygène. Nous reconnaissons par conséquent que, par rapport à la faculté de satisfaire à l'affinité chimique des autres corps simples, chaque fois 16 parties de soufre sont équivalentes à 8 parties d'oxygène.

Les nombres qui expriment les proportions en poids dans lesquelles les corps simples se combinent entre eux, ont été désignés sous le nom d'*équivalents chimiques*, ou simplement d'*équivalents* (du latin *æquus*, égal, et *valor*, valeur).

13. Prenons maintenant un corps nouveau, qui n'a pas encore été nommé dans le paragraphe précédent, le *chlore*, et que son équivalent nous soit totalement inconnu. On analyse une combinaison quelconque de chlore, par exemple celle [avec le mercure, et on la trouve composée de la manière suivante :

	Parties.
Mercure.....	100
Chlore.....	35
<hr/>	
g) Chlorure de mercure.....	135

En comparant cette composition avec celle du cinabre (*e*, § 12), il ressort que 35 parties en poids de chlore forment l'équivalent de 16 parties en poids de soufre.

On connaît par conséquent aussi dans quelles proportions de poids le chlore se combine avec les autres corps nommés plus haut, et, sans faire d'analyse, on peut prédire avec certitude que, chaque fois, 35 parties en poids de chlore se combineront avec 103 parties de plomb, 1 partie d'hydrogène, 8 parties d'oxygène, 16 parties de soufre. L'expérience vient parfaitement confirmer cette prévision.

En étendant des recherches semblables à tous les corps simples, on est parvenu, à la suite d'analyses innombrables, opérées avec le plus grand soin par les chimistes les plus différents, et toujours avec le même résultat, à poser une table d'équivalents chimiques que nous avons déjà communiquée au § 7.

Mais pour permettre de comparer entre elles les valeurs des nombres qu'on a obtenus par l'expérimentation, il était nécessaire de prendre l'équivalent d'un corps quelconque pour unité, afin de montrer combien de parties de tout autre corps simple se combinent avec l'unité. On

est convenu de prendre pour unité l'*hydrogène* : son équivalent est par conséquent égal à 1.

14. Une autre loi de la théorie des équivalents est celle-ci :

L'équivalent d'un corps composé est égal à la somme des équivalents de ses éléments.

Comme exemples, nous rappellerons simplement ceux que nous avons posés au § 12. L'équivalent de l'oxyde de plomb est de 111, parce qu'il se compose de 1 équivalent Plomb = 103 et de 1 équivalent Oxygène = 8. L'équivalent de l'eau est = 9.

Un corps composé peut se combiner avec un autre corps composé, et alors cela a toujours lieu dans les proportions de poids de leurs équivalents chimiques. L'oxyde de plomb, par exemple, se combine avec l'eau en un corps nommé oxyde de plomb hydraté et qui a la composition suivante :

	Parties (en poids).
1 équiv. Oxyde de plomb.....	111
1 » Eau.....	9
1 équiv. Oxyde de plomb hydraté.....	120

15. En se rapportant aux équivalents chimiques, les symboles employés en chimie ont acquis une signification nouvelle et très-importante, parce que la valeur des équivalents se reporte sur eux. Le signe *S* ne signifie par conséquent pas seulement la simple matière *soufre*, mais 16 parties (en poids) de *soufre* ; partout où dans un livre de chimie, je vois le symbole *O*, je ne me représente pas seulement l'élément *oxygène*, mais 8 unités en poids de ce corps.

16. Application des équivalents. La connaissance des poids proportionnels, dans lesquels les éléments se combinent entre eux, est, indépendamment de son importance scientifique, d'une grande valeur pour la chimie pratique. Par son intermédiaire, le chimiste sait dans quelle proportion il doit unir les corps simples pour former des combinaisons ; il sait ensuite quelle quantité de chaque élément il doit s'attendre à trouver lorsqu'il décompose une combinaison chimique ; il peut calculer d'avance le résultat de ses travaux. Le calcul lui-même est une application facile de la règle de trois, ainsi que le montrent les exemples suivants :

Problème. Quelle est la quantité de soufre nécessaire pour former du cinabre avec 73 livres de mercure, et combien obtiendra-t-on de ce dernier produit ?

Solution. Nous savons que l'équivalent de mercure = 100 se combine avec 1 équivalent soufre = 16, et forme du cinabre = 116 unités de poids ; par conséquent d'autant 73 est plus petit que 100, d'autant la

quantité de soufre nécessaire sera plus petite que 16, et le produit obtenu plus petit que 116 ; ainsi

$$\begin{aligned} \text{Soufre nécessaire.....} & \frac{73}{100} \times 16 = 11,68 \text{ livres.} \\ \text{Quantité de cinabre obtenue.....} & \frac{73}{100} \times 116 = 84,68 \text{ »} \end{aligned}$$

Cependant, on ne sera à même d'apprécier toute la valeur de la théorie des équivalents que lorsqu'on connaîtra les corps simples et leurs combinaisons. Il est également bon d'observer que par suite de mainte imperfection du procédé et des pertes qui en résultent, le résultat de grands travaux chimiques ne s'accorde jamais mathématiquement avec le résultat du calcul. Mais le chimiste a travaillé d'autant mieux qu'il arrive plus près de ce dernier.

17. La loi des proportions multiples. Nous avons établi au § 11, comme loi, que lorsque deux corps simples se combinent entre eux, ils le font toujours dans des proportions de poids fixes et invariables. En poursuivant l'étude des combinaisons chimiques, on découvre qu'il est une foule de cas où deux éléments se combinent entre eux dans plus d'une seule proportion de poids. Il est deux corps très-connus, le *soufre* et l'*oxygène*, où les deux éléments se trouvent en rapports de poids fort différents, dont on connaît toute une série de combinaisons, ce qui paraîtrait en opposition directe avec la loi des équivalents citée plus haut. Mais cette loi acquiert au contraire par ce fait une confirmation et une extension remarquables.

On doit à l'analyse chimique la connaissance de la composition de la série suivante de combinaisons du soufre avec l'oxygène. On a pris constamment la même quantité de soufre, et on a recherché avec combien d'oxygène on pouvait l'unir ; on a pris ensuite pour point de départ une combinaison, nommée acide hyposulfureux, dans laquelle l'équivalent de soufre est combiné à 1 équivalent d'oxygène :

Nom des combinaisons chimiques.	Leur composition en unités de poids.	
	Soufre.	Oxygène.
1. Acide hyposulfureux.....	16	8
2. » sulfureux.....	16	16
3. » sulfurique.....	16	24

Chacun doit être surpris ici du grand saut que fait tout d'un coup la quantité d'oxygène en passant de la première combinaison à la deuxième, et de celle-ci à la troisième. Lorsqu'il s'unit à l'acide hyposulfureux un peu plus d'oxygène, il n'en résulte pas une combinaison contenant peut-être 9, 10 ou 11, etc., unités de poids d'oxygène, mais la quantité de

celui-ci monte subitement de 8 au double, savoir à 16, et pour l'acide sulfurique au triple du chiffre de l'équivalent, savoir à 24. Ces quantités d'oxygène sont entre elles comme 1 : 2 : 3; ce sont des multiples de l'équivalent 8 de l'oxygène.

De ce fait et d'un grand nombre de faits analogues, on a déduit la loi des proportions multiples, qui s'exprime ainsi :

Les corps simples se combinent entre eux d'après leurs équivalents ou des multiples de ceux-ci.

18. Les différentes espèces de combinaisons. Si chacun des 64 corps simples peut se combiner chimiquement avec chacun des autres, il doit déjà en résulter un nombre extrêmement grand de combinaisons chimiques. Mais, ce qui vient encore en accroître le nombre et la diversité, c'est que non-seulement deux corps simples, mais trois et quatre et davantage peuvent s'unir, ensemble et former une combinaison. Sous ce rapport on distingue des combinaisons :

de 2 corps simples ou	<i>binaires.</i>
3	» ou <i>ternaires.</i>
4	» ou <i>quaternaires.</i>
5	» ou <i>quinternaires.</i>

Cependant les combinaisons composées de plus de 5 corps simples sont relativement rares.

Les combinaisons qui résultent de l'union immédiate de deux ou plusieurs éléments se nomment combinaisons de *premier ordre*; deux de celles-ci s'unissant de nouveau entre elles forment les combinaisons de *second ordre*. Il est plus rare que des combinaisons de second ordre s'unissent, pour en former de *troisième ordre*.

19. Formules chimiques. Nous nous servons avec grand avantage de symboles chimiques, pour faire ressortir bien clairement diverses circonstances que nous avons mentionnées dans ce qui a été dit antérieurement sur les combinaisons chimiques. Pour désigner des combinaisons de premier ordre, il suffit de placer deux ou plusieurs symboles l'un à côté de l'autre, selon qu'il s'agit de combinaisons binaires, ternaires, etc.

C'est ainsi que HgS = cinabre (V. § 15); H_2O = eau; PbO = oxyde de plomb; HgO = oxyde de mercure; HS = acide sulfhydrique; $HgCl$ = chlorure de mercure; KO = potasse; CaO = chaux, etc.

Lorsqu'une combinaison contient *plusieurs équivalents* de ses éléments, on met à la droite de ces derniers au-dessus ou au-dessous de la ligne,

un petit chiffre qui indique combien d'équivalents de cette matière se trouvent dans la combinaison, par exemple :

S O	= acide hyposulfureux	= 1	équiv. soufre	+	1	équiv. oxygène.
S O ²	= » sulfureux	= 1	» »	+	2	» »
S O ³	= » sulfurique	= 1	» »	+	3	» »

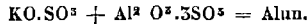
La composition chimique du sucre s'exprime par la formule $C^{12} H^{11} O^{11}$, qui nous dit que le sucre est une combinaison ternaire du premier ordre composée de 12 équivalents carbone et de 11 équivalents d'hydrogène et d'autant d'équivalents d'oxygène.

Un chiffre qui précède une formule chimique multiplie l'expression qui suit dans toutes ses parties ; $3SO^3 = 3$ équivalents acide sulfurique ou $= 3$ équivalents soufre et 9 équivalents oxygène.

Les combinaisons de second ordre s'expriment en rangeant l'une à côté de l'autre les combinaisons qui les composent et en les séparant par un point :

PO.HO	= Combinaison	d'oxyde de plomb	avec l'eau.
CaO.CO ²	= »	de chaux	avec l'acide carbonique.
KO.SO ³	= »	de potasse	avec l'acide sulfurique.
Al ³ O ³ .3SO ³	= »	d'alumine	avec 3 équiv. d'acide sulfurique.

Lorsque des combinaisons de second ordre s'unissent entre elles, on les désigne par le signe plus (+) comme des combinaisons de troisième ordre.



L'examen attentif de la formule qui précède nous dit que ce sel généralement connu contient quatre corps simples, qu'il est, par conséquent, une combinaison quaternaire ; que ses éléments les plus proches sont le sulfate de potasse et le sulfate d'alumine ; que ses éléments plus éloignés sont l'acide sulfurique, la potasse et l'alumine ; enfin, que ses derniers éléments ou ses éléments fondamentaux sont le potassium, l'aluminium, le soufre et l'oxygène. Cette formule nous dit encore en quelle proportion de poids ces substances s'y trouvent. Nous y comptons :

1 équiv. potassium....	= K.....	= 59
2 » aluminium...	= 2 Al = 2 × 13.7	= 27
4 » soufre.....	= 4 S = 4 × 16	= 64
16 » oxygène.....	= 16 O = 16 × 8	= 128
1 équiv. alun.....		= 258

De 258 unités de poids d'alun il se trouve, par conséquent, 59 unités de potassium, 27 d'aluminium, 64 de soufre et 128 d'oxygène.

20. Caractères généraux des combinaisons chimiques. De ce qui précède, il ressort que la combinaison de deux ou plusieurs corps simples, celle de leurs multiples, ainsi que les combinaisons d'un ordre supérieur donnent naissance à un très-grand nombre de composés chimiques différents. Ceux-ci présentent, relativement à leurs propriétés, des différences sans nombre, au point qu'entre mille on n'en trouverait pas deux parfaitement semblables sous le rapport de la forme, de la couleur, de la densité, de la solubilité, etc. Cependant, il est trois grands groupes qui se distinguent par certaines propriétés communes et dans lesquels se rangent toutes les combinaisons chimiques. Les caractères distinctifs sont : la saveur, ainsi que leur action sur certaines couleurs végétales bleues, vertes et rouges. D'après cela, on divise toutes les combinaisons chimiques en *acides*, en *bases* et en *substances neutres ou indifférentes*,

Les *acides* sont les combinaisons chimiques qui ont une saveur aigre et qui rougissent la couleur bleue des substances végétales.

On nomme par contre *base*, une combinaison qui possède une saveur alcaline et qui verdit la couleur bleue végétale.

Les acides et les bases ont les uns pour les autres beaucoup d'affinité. Ils se combinent facilement pour former ce qu'on nomme des *sels*, qui n'ont ni les caractères des acides, ni ceux des bases, et qu'on désigne pour cette raison sous le nom de *corps neutres*.

Tous les acides et toutes les bases ne possèdent pas au même degré les propriétés caractéristiques citées. Dans quelques acides, la saveur aigre va jusqu'à devenir caustique, de sorte qu'ils agissent à l'extérieur et à l'intérieur comme des poisons destructifs; tels sont les *acides* sulfurique, nitrique et chlorhydrique. D'autres acides, au contraire, ont une saveur aigre, agréable, et n'agissent pas comme caustiques, tels sont, par exemple, les acides acétique et citrique, qui sont même employés dans la préparation de nos mets. Dans certains acides, la saveur est à peine sensible, comme dans l'acide carbonique; l'acide silicique est totalement privé de saveur.

Il en est de même pour les bases. Tandis que la potasse et la soude agissent comme caustiques et conservent, même dans des dissolutions très-étendues, une saveur très-alcaline, la magnésie, l'alumine, l'oxyde de fer et beaucoup d'autres sont tout à fait insipides. Mais les acides et les bases ne paraissent insipides que lorsqu'ils sont insolubles dans l'eau.

On dit qu'un acide est fort ou faible, qu'une base est puissante ou faible, selon qu'ils possèdent les propriétés citées d'une manière plus ou moins marquée. Les acides et les bases nous apparaissent dans leur manière d'agir comme des corps antagonistes, qui, dès qu'on les réunit, détruisent mutuellement leurs propriétés, de même que dans une addition les valeurs positives et négatives se détruisent. C'est pourquoi la couleur bleue

rougie par un acide est ramenée à sa couleur primitive par une base. Ils s'enlèvent de même mutuellement leur saveur caractéristique.

On peut se servir du suc bleu des violettes, des iris ou du chou rouge, pour établir des essais sur la nature acide, basique et neutre des combinaisons. Mais il est bon d'observer que certaines couleurs végétales font exception; c'est ainsi que la couleur bleue de l'indigo ne s'altère pas plus par les acides ou les bases, que la couleur verte des feuilles.

Le chimiste emploie pour l'examen de la nature acide, basique ou neutre d'un corps, un *papier dit réactif*, qui se compose de bandes de papier coloré en bleu et en rouge.

Les sels sont des corps neutres, parce que les acides et les bases qui ont servi à les former ont détruit réciproquement leurs propriétés; aussi témoignent-ils très-peu de tendance à former des combinaisons chimiques ultérieures. Mais il existe encore une foule d'autres combinaisons chimiques, qui ont les mêmes propriétés sans être des sels, et qu'on distingue de ceux-ci sous le nom de *combinaisons chimiques neutres ou indifférentes*. Dans ce groupe se rangent par exemple l'eau, le sucre et l'alcool.

21. Nous avons exposé jusqu'ici les notions préparatoires les plus importantes, celles qui sont nécessaires pour comprendre les phénomènes chimiques. Une étude complète des lois de la chimie et de leur théorie ne peut être fructueuse que lorsqu'on est familiarisé plus intimement avec les substances chimiques et leurs combinaisons. Avant de passer à l'étude de celles-ci, nous terminerons l'introduction par quelques considérations générales qui sont d'une grande importance lorsqu'on veut se former une idée générale sur la nature et surtout sur la terre et son domaine.

La terre avec son atmosphère forme un seul tout qui se compose d'un certain nombre de corps simples. Ces corps ou ces matières n'existent qu'en quantités très-inégales, et la plupart du temps sous forme de combinaisons; ils constituent de cette manière la diversité infinie des objets qui nous entourent. Car de même que le petit nombre de lettres de l'alphabet permet, en variant leur composition, de former un nombre infini de mots dans les langues les plus différentes, de même ces matières, unies en groupes différents, représentent sans exception tout ce qui, ne fût-ce que comme partie de matière, se présente à nos sens, n'importe sous quelle forme, ni de quelle manière.

La terre ne perd pas la plus petite parcelle de la matière qui lui appartient. Quand nous brûlons des milliers de stères de bois, nous modifions simplement la manière dont étaient combinés les éléments qui forment le bois. Au lieu de se constituer en bois solide et visible, ses éléments entrent pendant la combustion dans des combinaisons nouvelles, gazeuses et, pour cette raison, invisibles, mais ils ne disparaissent pas

pour cela de l'espace universel, pas même du domaine terrestre. Nous démontrerons même, dans l'étude de la nutrition des plantes, comment ces mêmes éléments du bois qui a été brûlé, éléments qui se sont échappés dans l'air sous forme de combinaisons gazeuses, peuvent se réunir de telle manière qu'ils reprennent de nouveau la forme de bois.

Pas une *seule parcelle* de la matière ne peut être *détruite*, mais nous ne sommes pas non plus capables d'en *produire*, d'en *créer une seule*. C'est pourquoi, lorsqu'on parle de la *préparation* ou de la *production d'un corps*, il ne peut naturellement être question d'autre chose que de la séparation de ce corps d'une combinaison chimique dans laquelle ce corps existait déjà, ou bien de sa formation au moyen d'éléments donnés.

Une parcelle de soufre reste éternellement et d'une manière indestructible la même parcelle de soufre; ce n'est qu'en se combinant chimiquement avec d'autres matières, qu'elle disparaît comme telle à nos sens. Mais elle reparaît aussitôt avec tous ses caractères dès que nous la séparons de ses combinaisons.

22. Division de la chimie. La chimie se divise en *chimie inorganique* et *chimie organique*. La chimie inorganique traite des corps simples et de leurs combinaisons qui se rencontrent dans le règne minéral ou qui sont préparées au moyen de ceux-ci.

La chimie organique comprend les combinaisons chimiques qui se trouvent toutes formées dans le corps des plantes ou des animaux, ou que l'on prépare au moyen de ces dernières.

Cette division du domaine de la chimie ne peut à la vérité pas être maintenue dans toute sa rigueur; car certaines combinaisons appartiennent aussi bien à la première qu'à la seconde division. Cependant elle facilite considérablement l'étude générale de cette science, que nous nous proposons d'exposer dans l'ordre suivant :

I. CHIMIE INORGANIQUE.

1. Métalloïdes.
2. Métaux.
 - a) Métaux légers.
 - b) Métaux pesants.

II. CHIMIE ORGANIQUE.

1. Acides organiques.
2. Alcools.
3. Bases organiques.
4. Combinaisons neutres.

SUPPLÉMENT.

Phénomènes électro-chimiques
Influences chimiques de la lumière.

SUPPLÉMENT.

La décomposition spontanée.
La distillation sèche.

I. Chimie inorganique.

23. Elle nous apprend à connaître les corps simples, l'état sous lequel on les rencontre dans la nature, le procédé d'après lequel on les obtient, leurs propriétés examinées isolément et leur action sur d'autres matières, ainsi que les combinaisons les plus importantes qui en résultent. Parmi ces dernières, nous aurons surtout égard à celles qui, par leur application aux arts, à l'industrie et à la médecine, méritent particulièrement notre attention. Pour certaines d'entre elles, nous avons ajouté les prix ; mais on n'oubliera pas que ces prix sont sujets à fluctuation.

24. Parmi les caractères extérieurs des corps, la *forme cristalline* sous laquelle les molécules de la plupart des corps se groupent, mérite une attention particulière. Quelque variées que soient les formes que nous rencontrons chez les corps cristallisés, elles peuvent cependant toutes être ramenées à certaines formes fondamentales. On peut poser en loi qu'une même substance ne se rencontre que sous des formes appartenant à la même forme fondamentale. Il s'est donc formé une science spéciale qui traite des formes cristallines : elle se nomme *crystallographie* et se trouve exposée dans la partie minéralogique de cet ouvrage. Ici nous ferons simplement observer qu'un corps est dit *cristallisé* lorsqu'il se montre sous forme de cristaux véritables, qu'on peut déterminer géométriquement, comme, par exemple, le sel de cuisine, le sucre candi ; un corps est *cristallin* lorsqu'il se compose de cristaux qui ne sont pas parfaitement développés, comme cela a lieu pour le marbre, le sucre blanc ; enfin, on trouve souvent que la masse d'un corps n'offre pas de traces de formation régulière : on le nomme alors *amorphe*, c'est-à-dire *sans forme*. Le verre est un corps amorphe. Cependant il dépend de certaines circonstances extérieures qu'un corps prenne l'une ou l'autre de ces formes, et il est certaines substances, le soufre, par exemple, que nous pouvons obtenir à volonté à l'état cristallisé, cristallin ou amorphe.

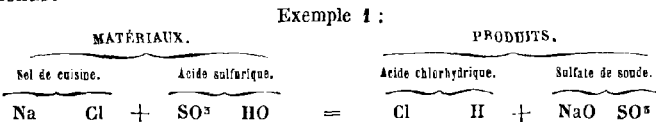
25. Dans l'exposé de la chimie il sera fréquemment question de décompositions chimiques. Chaque fois qu'il s'agit d'obtenir un corps simple ou une combinaison quelconque, on emploie à cette fin certains matériaux, et il en résulte, comme conséquence de l'action chimique, de nouveaux produits. Dans le § 9 nous avons déjà dit que nous ne pouvions pas, en vertu de lois générales, déterminer d'avance le résultat qu'on obtiendra par l'action chimique de différents corps, que c'est l'expérience seule qui nous renseigne à cet égard. L'étude de la chimie consiste donc essentiellement à poursuivre et à étudier dans leur marche les actions chimiques les plus importantes. A cet effet on se sert de leur description ; puis de l'expérimentation qui nous fait voir les matières et les phénomènes en nature ;

ensuite de dessins représentant les instruments ou appareils employés. Tout cela doit être utilisé, pour bien inculquer un fait chimique dans la mémoire.

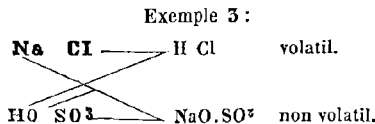
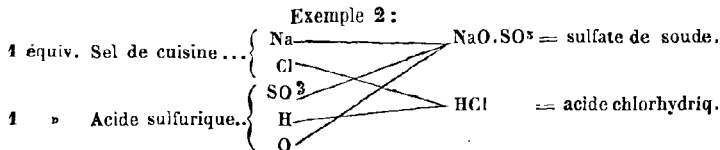
Ce qui donne une intelligence très-claire de ce qui se passe dans une décomposition chimique, c'est l'arrangement de *formules* qui la représentent de la manière la plus exacte. On peut s'y prendre de différentes manières, et presque chaque chimiste a la sienne. Un exemple fera mieux comprendre ce que nous venons de dire.

Pour obtenir de l'*acide chlorhydrique gazeux* = *Cl H*, on verse sur 1 équ. *sel de cuisine* = *Na Cl*, 1 équiv. *ac. sulfurique hydraté* = *SO³. HO*, et on soumet à la distillation. Comme produit secondaire on obtient du sulfate de soude = *Na O. SO³*.

La manière la plus simple est de présenter la décomposition sous forme d'une équation entre les matières premières employées et les produits obtenus.

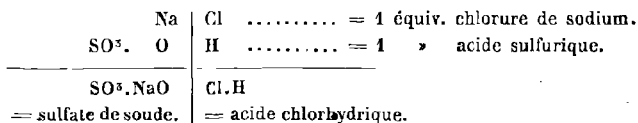


Ou bien on réunit par des traits ou des accolades les matières qui se combinent entre elles, comme dans les exemples 2 et 3.



Exemple 4 :

On arrange les éléments des matières premières qui se combinent les unes sous les autres, puis on tire une ligne verticale qui indique la décomposition et une ligne horizontale sous laquelle on additionne les produits.



I. MÉTALLOÏDES.

I. OXYGÈNE.

Oxygenium ; $O = 8$; pesanteur spécifique = 1,436 ; 1 litre (= 1000 centimètres cubes) pèse 1,45028 grammes ; découvert en 1774 par Priestley et Scheele.

26. L'oxygène se trouve dans la nature en quantité très-abondante ; il est généralement répandu, mais jamais à l'état pur non combiné. C'est ainsi que le peroxyde de manganèse, minéral qu'on rencontre fréquemment, se compose de manganèse et d'oxygène = $Mn O^2$; si on le chauffe jusqu'au rouge dans un tube de fer, il se décompose et abandonne le tiers de son oxygène. Mais d'autres composés oxygénés fournissent cet élément dans un état plus pur et d'une manière plus commode. Si, dans la petite cornue *a* (fig. 2), on chauffe de l'oxyde de mercure = $Hg O$, il se décompose

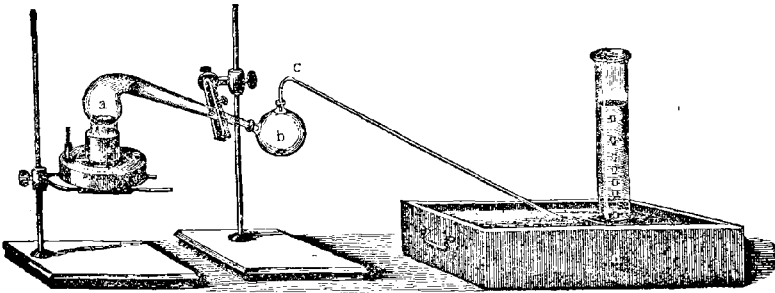


Fig. 2.

en ses éléments. Le mercure s'accumule dans le ballon *b*, tandis que l'oxygène gazeux entre par le tube *c* dans la cloche remplie d'eau dont l'ouverture plonge dans l'eau. Pour chaque bulle de gaz qui entre il se déplace un volume correspondant d'eau, jusqu'à ce que la cloche soit entièrement remplie d'oxygène. Des appareils analogues servent d'une manière générale à la préparation des gaz.

Aujourd'hui, on se procure assez ordinairement l'oxygène au moyen du chlorate de potasse = $KO. ClO^5$, qui contient 6 équivalents d'oxygène et se décompose facilement par la chaleur.

Toutes les parties vertes des plantes exhalent, à la lumière du soleil, de l'oxygène. Si l'on prend une branche munie de feuilles, ou bien une partie de feuilles fraîches et qu'on les place, comme dans la fig. 3, sous un entonnoir rempli d'eau et bouché, et qu'on expose ensuite le tout à la

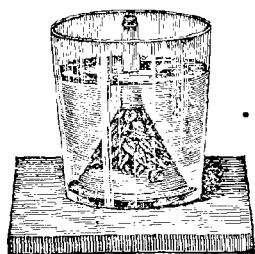


Fig. 3.

lumière du soleil, on voit insensiblement s'accumuler vers la pointe de petites bulles d'air qui sont de l'oxygène pur. Même sur de petites plantes microscopiques qu'on regardait autrefois comme des animaux infusoires, cette exhalation d'oxygène a été constatée.

L'oxygène est un gaz inodore et incolore, comme l'air qui nous entoure. Cependant, il se distingue facilement de ce dernier par l'extrême vivacité avec laquelle des corps enflammés y brûlent. Si l'on plonge, par exemple, dans un vase rempli d'oxygène une

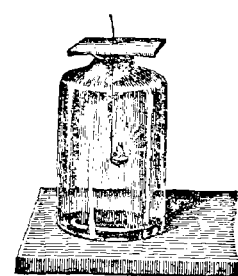


Fig. 4.



Fig. 5.

allumette à peine en ignition, elle s'enflamme instantanément et brûle vivement. Le phosphore y brûle avec une lumière blanche éblouissante comme l'éclat du soleil, le soufre avec une belle flamme bleuâtre. Des esquilles de charbon ou de fines lames d'acier enroulées, qu'on a rougies au feu à une

de leurs extrémités et qu'on plonge alors dans ce gaz, y brûlent complètement en lançant autour d'elles de magnifiques étincelles. (V. fig. 4 et 5.)

Ces phénomènes dépendent de la grande affinité de l'oxygène pour ces corps. La combustion elle-même n'est rien autre chose qu'une combinaison d'oxygène qui, dans les expériences citées, donne naissance à l'acide carbonique $C O^2$, à l'acide sulfureux $S O^2$, à l'acide phosphorique $P O^5$ et à l'oxyde de fer $Fe^2 O^3$.

La plupart des minéraux contenant de l'oxygène, le corps des animaux et des plantes renfermant 30 à 50 pour cent de ce gaz, l'eau en contenant le $\frac{8}{9}$ de son poids, il est non-seulement un des corps les plus répandus, mais encore un de ceux qui se trouvent en plus grande abondance dans la nature. On peut admettre qu'il constitue un tiers de la masse connue de notre globe.

Encore est-il essentiel d'observer que l'atmosphère est un mélange

d'oxygène avec un autre gaz, l'azote. Dans 5 litres d'air atmosphérique, il se trouve 1 litre d'oxygène : il constitue donc aussi $\frac{1}{5}$ de toute l'atmosphère.

Il en résulte ce fait important que toutes les matières qui se trouvent dans l'air sont exposées à l'influence de l'oxygène qui s'y trouve. Ce gaz, en vertu de son affinité, tend constamment à se combiner avec les matières qui ne le sont pas encore ou qui ne sont que partiellement unies avec lui. Ce corps est donc la cause d'une foule de phénomènes chimiques qui se passent à chaque instant autour de nous et dans nous. Si les circonstances sont particulièrement favorables, la combinaison chimique a lieu avec une telle violence, qu'il se dégage une grande chaleur et puis de la lumière, en d'autres termes, il surgit le phénomène que nous nommons *combustion*. Mais dans la grande majorité des cas, la combinaison avec l'oxygène a lieu moins sensiblement et sans flamme. Il y a bien alors aussi développement de chaleur, mais celle-ci se répartit sur un temps plus long et devient ainsi moins appréciable. La formation de la rouille du fer, du vert-de-gris, du cuivre, la fermentation, la putréfaction, la respiration des hommes et des animaux, constituent autant de phénomènes dont l'oxygène est la cause prochaine. Dans tous ces actes, il se forme de nouvelles combinaisons d'oxygène, et aucun ne peut avoir lieu lorsqu'on exclut l'oxygène de même que, sans la présence de l'air contenant de l'oxygène, un corps ne peut brûler.

27. La combinaison avec l'oxygène se nomme *oxydation*. *Oxyder* signifie combiner avec l'oxygène, et *oxyde*, combinaison d'oxygène. Comme l'oxygène se combine avec la plupart des autres corps en plusieurs proportions, on distingue différents *degrés d'oxydation*, qui sont désignés par des noms différents.

Les métalloïdes forment avec l'oxygène principalement des *oxydes acides*; les métaux, au contraire, plus particulièrement des *oxydes basiques*. Sous le nom de *radical* d'un oxyde on comprend généralement le corps avec lequel l'oxygène est combiné : c'est ainsi que le soufre est le radical de l'acide sulfurique $S O^2$.

Les propriétés générales des combinaisons avec l'oxygène me paraissent pouvoir convenablement être résumées dans le tableau suivant :

COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE.

I. ACIDES.

	DEGRÉ d'oxydation.	EXEMPLE.	FORMULE.	Propriétés générales.
	a. Degré le plus bas.	Acide hyposulfureux...	$S^2 O^2$	
1	Degré inférieur..	Acide sulfureux..... » azoteux..... » chloreux..... » phosphoreux....	$S O^2$ $N O^2$ $Cl O^2$ $P O^2$	Acides faibles; sont éliminés de leurs combinaisons par la plupart des acides du degré suivant; absorbent l'oxygène de l'air et se transforment en acides du degré suivant.
	b. Degré intermédiaire.	Acide hyposulfurique...	$S^2 O^5$	
2	Degré moyen....	Acide sulfurique..... » azotique..... » chlorique..... » phosphorique.... » manganique.....	$S O^5$ $N O^5$ $Cl O^5$ $P O^5$ $Mn O^5$	Acides forts, souvent caustiques; le plus souvent inaltérables à l'air par l'action de la chaleur; certains d'entre eux se décomposent comme les suivants.
3	Degré le plus élevé.	Acide hyperchlorique.. » hypermanganique..	$Cl O^7$ $Mn^2 O^7$	Acides plus faibles que les précédents; se décomposent facilement par l'action de la chaleur en oxygène et en un degré d'oxydation inférieur.

II. BASES.

DEGRÉ d'oxydation.	EXEMPLE.	FORMULE.	Propriétés générales.
c. Suboxyde.....	Suboxyde de plomb ou sous-oxyde.	Pb ² O	
1 L'oxydule ou protoxyde.	Oxydule de fer..... » de manganèse. » de mercure...	Fe O Mn O Hg ² O	Bases faibles; sont éliminées de leurs combinaisons par la plupart des oxydes; absorbent avidement de l'oxygène de l'air et se transforment en oxygène.
d. Oxyduloxyle ou oxyde intermédiaire.	Oxyduloxyle de fer....	Fe ³ O ⁴	
2 L'oxyde.....	Oxyde de fer..... » de manganèse.. » de cuivre..... » de plomb..... » de mercure..... » de potassium... » de sodium.....	Fe ² O ³ Mn ² O ³ Cu O Pb O Hg O K O Na O	Bases fortes, souvent caustiques; ne se transforment pas à l'air par eux-mêmes en degrés d'oxydation plus élevés. Les oxydes des métaux pesants sont insolubles dans l'eau.
3 Superoxyde.....	Superoxyde de mangan. » de plomb..	Mn O ² Pb O ²	Ni acides, ni basiques; se décomposent par la chaleur en oxygène et en oxyde.

28. Indépendamment de ces principaux degrés d'oxydation, nous trouvons dans certains corps des degrés intermédiaires, comme, par exemple, l'acide hyposulfureux et l'acide hyposulfurique, indiqués sous *a* et *b*; ces acides sont généralement plus faibles et se décomposent plus facilement. De même nous trouvons dans les oxydes métalliques sous *c* et *d* le sous-oxyde et l'oxyde intermédiaire ou salin, qui n'ont pas un caractère chimique bien déterminé.

Bien que les corps non métalliques forment de préférence des acides avec l'oxygène, ils donnent parfois naissance à des oxydes d'un degré

d'oxydation moins avancé, qui ne sont ni acides, ni basiques, comme, par exemple l'eau H_2O , l'oxyde d'azote NO , l'oxyde de carbone CO et d'autres. D'un autre côté, nous trouvons que, tandis que la plupart des oxydes métalliques sont basiques, il y a certains oxydes plus oxygénés qui se comportent tout à fait comme des acides, tels, par exemple, l'acide manganique MnO_3 , l'acide chromique CrO_3 , l'acide antimonique SbO_3 , etc.

Comme on le voit, ce n'est pas la quantité d'oxygène uni au radical, mais le caractère chimique qui détermine le nom et le rang des oxydes, car l'acide sulfurique, par exemple, ne contient que 3 équivalents d'oxygène et est cependant un acide plus fort que l'acide azotique, qui en contient 5.

29. On a longtemps cru que l'oxygène était pour ainsi dire un principe acidifiant. Mais depuis que l'on sait qu'il y a de très-forts acides qui ne contiennent pas d'oxygène, et qu'il forme avec les métaux les bases les plus fortes, et qui sont entièrement opposées aux acides, on est revenu de cette opinion. On distingue du reste sous le nom d'*oxacides* les acides formés par l'oxygène.

C'est avec raison qu'on place l'oxygène à la tête des corps simples, car autant par sa masse, son affinité énergétique, que par sa présence générale, il est le plus important de tous les corps simples. C'est en particulier du concours de l'oxygène que dépendent deux des phénomènes à la vérité les

plus vulgaires, mais aussi les plus importants, savoir la *respiration* et la *combustion*.

Aussi bien chez l'homme que chez les animaux, la respiration consiste essentiellement dans l'absorption d'une certaine quantité d'oxygène de l'air; ce gaz a une influence profonde sur la qualité du sang, qui préside au développement de la chaleur animale. Dans un air privé d'oxygène, les hommes et les animaux meurent en peu d'instants.

De même chaque corps qui brûle absorbe l'oxygène de l'air et nous cherchons à favoriser

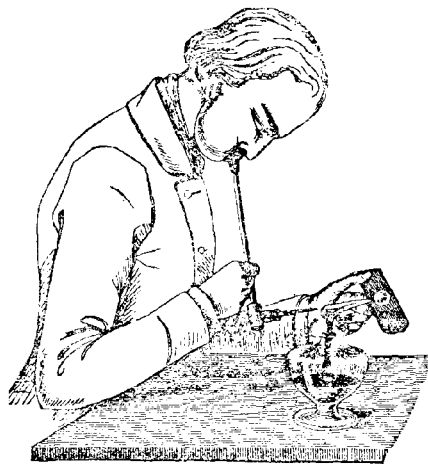


Fig. 6.

la combustion en facilitant l'arrivée de l'air; nous en augmentons l'activité en insufflant de l'air, que ce soit en petit par le chalumeau (fig. 6), ou en grand par des soufflets ou autres appareils. Mais la chaleur d'une flamme

s'élève extraordinairement, lorsqu'on y insuffle de l'oxygène pur enfermé soit dans une vessie (fig. 7) ou dans un gazomètre (fig. 8), et s'écoulant par une pointe fine dans la flamme d'une lampe à alcool. Dans la flamme

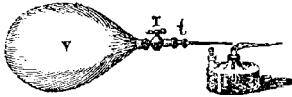


Fig. 7.

qui en résulte, on peut fondre avec facilité les corps les moins fusibles, comme, par exemple, un fil de platine; un fil d'acier y brûle rapidement en lançant de magnifiques étincelles.

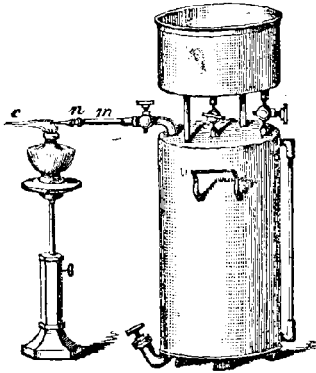


Fig. 8.

30. Ozone. Oxygène actif ou électrisé. Quand, dans une bouteille remplie de gaz oxygène, on fait passer pendant quelque temps de vives étincelles électriques, le gaz prend cette odeur caractéristique que l'on sent au voisinage d'une machine électrique aussitôt qu'elle est mise en rotation. Ce gaz a acquis en outre des propriétés remarquables; c'est ainsi qu'il exerce une oxydation particulièrement rapide et énergique, car il oxyde, par exemple, l'argent, il transforme le sulfure de plomb $Pb S$ en sulfate de plomb $Pb O SO^3$, il blanchit l'indigo ainsi que d'autres cou-

leurs. Il exerce surtout une action remarquable sur un mélange d'iodure de potassium et d'amidon: les papiers enduits de ce mélange se colorent, au contact de ce gaz, instantanément en violet foncé. On attribue ces effets à une matière qu'on nomme *ozone*. Il se forme aussi lorsqu'on fait passer lentement de l'air au-dessus du phosphore humide; mais chacun de ces procédés ne le fournit qu'en si petite quantité, qu'il règne encore beaucoup d'incertitude sur sa véritable nature. On est porté à regarder l'ozone comme de l'oxygène qui se trouve dans un état particulier, avec une affinité considérablement augmentée: on l'a nommé pour cette raison oxygène actif.

2. HYDROGÈNE.

Hydrogenium; $H = 1$; poids spécifique 0,0692.

1 litre pèse 0,0896 gramme; découvert en 1766 par Cavendish.

31. L'hydrogène est abondamment répandu dans la nature, mais on ne l'y trouve jamais à l'état isolé. Le plus souvent, il est combiné avec l'oxygène pour former un corps que nous nommons *eau*, corps que l'on

sait n'être pas rare et qui s'exprime par la formule HO . C'est toujours de cette combinaison que nous nous servons pour obtenir l'hydrogène. A cet effet, on fait chauffer de l'eau dans une cornue *a* (fig. 9), de telle

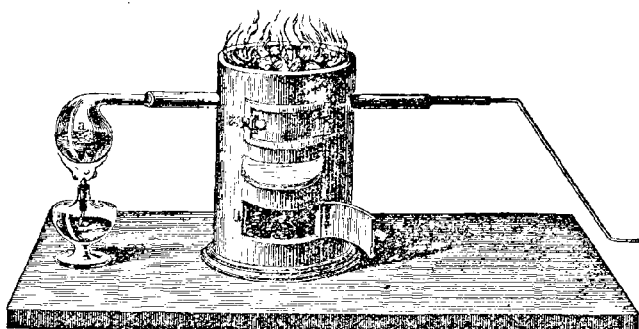


Fig. 9.

sorte que ses vapeurs passent à travers un canon de fusil en fer ou un tube de porcelaine rempli de petits clous de fer et rougi au feu. Dans ce cas, l'oxygène s'unit au fer pour former de l'oxyde de fer (Fe^2O^3); l'hydrogène devenu libre passe dans le tube abducteur qui se rend dans la cuve à eau sous une cloche.

Mais un procédé plus commode, et pour cette raison plus généralement suivi pour préparer l'hydrogène, consiste à mettre dans un appareil à

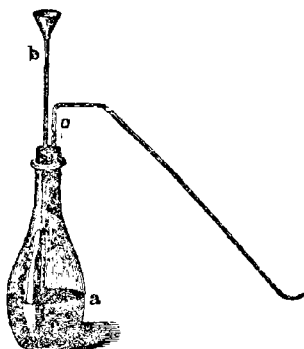


Fig. 10.

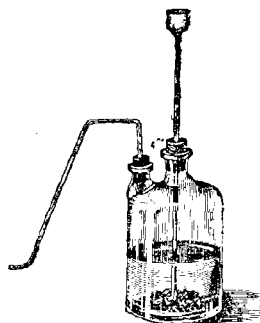
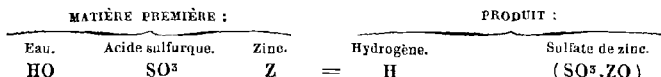


Fig. 11.

deux tubulures (fig. 10 ou fig. 11) de petits morceaux de zinc avec de l'eau et d'y verser un peu d'acide sulfurique. Du zinc, de l'eau et de l'acide

sulfurique résultent de l'hydrogène s'échappant sous forme gazeuse et du sulfate de zinc qui reste dans le vase.



L'hydrogène est un gaz incolore et inodore ; il est en même temps le plus léger de tous les corps, car 1 litre d'hydrogène pèse 14 fois moins qu'un litre d'air atmosphérique, de sorte qu'un ballon de soie qui en est rempli s'élève dans l'air comme un bouchon dans l'eau. C'est pour cette raison qu'on s'en est servi pour remplir les aérostats ; mais aujourd'hui on emploie à cette fin le gaz à éclairer, qui est à meilleur compte.

L'hydrogène mis en contact avec un corps incandescent ou enflammé brûle avec une flamme qui n'éclaire que faiblement (fig. 12), mais qui



Fig. 12.

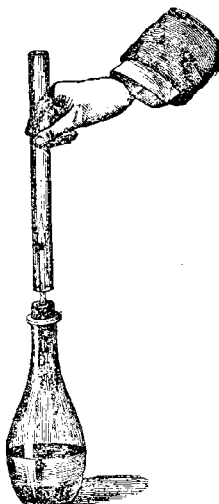


Fig. 13.

développe une très-grande chaleur : il se combine alors avec l'oxygène de l'air pour former de nouveau de l'eau. Quand on tient au-dessus de la flamme de l'hydrogène un tube de verre (fig. 13), il se produit un son pénétrant particulier : on a dénommé ce phénomène l'*harmonica chimique*.

Dans l'industrie, l'hydrogène n'a pas d'usages particuliers. Cependant on s'en sert pour renforcer le feu de forge. Car quand on projette de l'eau sur des charbons ardents, elle est décomposée ; son oxygène s'unit au charbon, et l'hydrogène devenu libre brûle et augmente la chaleur du feu.

Lorsqu'on fait passer un courant d'hydrogène au-dessus d'oxydes métalliques rougis au feu, l'oxyde de cuivre, par exemple, il s'unit avec l'oxygène de ce dernier pour former de l'eau qui s'échappe en vapeurs, et le métal pur devient libre. Les chimistes s'en servent fréquemment pour des désoxydations de cette nature.

32. Combinaisons de l'hydrogène. L'hydrogène se combine de préférence avec les corps non métalliques ; on connaît à peine quelques

combinaisons avec des métaux. Toutes les matières végétales et animales contiennent de 5 à 6 pour cent d'hydrogène.

Avec le brome, le chlore, l'iode, le fluor et quelques autres corps, il forme des combinaisons acides qu'on nomme *hydracides*. Mais sa combinaison particulièrement importante est d'abord :

EAU.

Formule : $\text{HO} = 9$; densité = 1.

Lorsqu'on mélange une partie en poids d'hydrogène et 8 parties en poids d'oxygène, ou, ce qui revient au même, deux litres du premier et un litre du second, ils ne se combinent pas. Mais la combinaison a lieu instantanément lorsqu'on met le mélange en contact avec un corps incandescent. Il se produit alors une violente explosion, c'est-à-dire développement de chaleur et de lumière avec forte détonation, parce que la vapeur d'eau, au moment de sa formation, acquiert par la chaleur une dilatation extraordinaire. Ce mélange gazeux a reçu pour cette raison le nom de *gaz explosif ou détonnant*; et les expériences qu'on fait avec lui sont *très-dangereuses* et ne doivent jamais être répétées qu'en petit. Même lorsque de l'air atmosphérique se mélange à l'hydrogène, l'inflammation de celui-ci produit une explosion. On doit donc, dans les expériences, laisser s'échapper pendant quelque temps l'hydrogène, afin que tout l'air soit chassé avant qu'on l'allume. Cependant, au moyen d'appareils convenables, on parvient à brûler des quantités de gaz explosif suffisantes pour recueillir la quantité d'eau qu'il faut pour s'assurer qu'elle a bien toutes les propriétés de l'eau la plus pure. La chaleur qui se développe

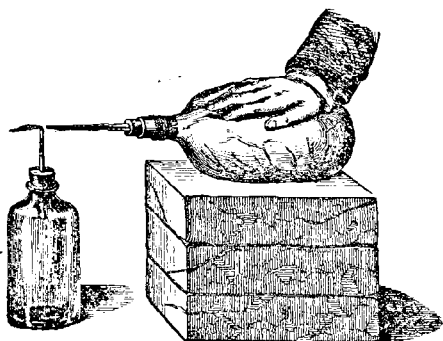


Fig 14.

pendant la combustion du gaz explosif est tellement considérable, qu'elle produit des effets extraordinaires. Pour éviter les explosions dangereuses, on conserve les gaz séparés dans deux réservoirs, dont l'un contient l'oxygène et l'autre l'hydrogène, et on les fait arriver séparément dans un tube d'écoulement commun disposé de telle façon, que les gaz ne se mélangent qu'à l'ouverture, et qu'allumés là ils brûlent aussitôt. Dans cette flamme se fondent le fil de platine, l'alumine, le quartz, la chaux et

en général les corps les plus difficilement fusibles. Lorsqu'on dirige la flamme sur un bâton de craie qu'on a taillé en pointe, celle-ci devient incandescente et répand une lumière éblouissante, semblable à celle du soleil, qu'on nomme *lumière de Drummond* et qui est employée pour l'éclairage artificiel du microscope solaire, des appareils photographiques et des signaux.

Un procédé très-simple pour faire des expériences avec la flamme du gaz explosif est représenté fig. 14 ; on insuffle dans la flamme d'hydrogène de l'oxygène contenu dans une vessie.

Pour démontrer que dans la combustion de l'hydrogène il se produit

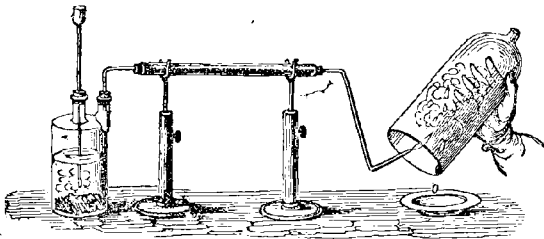


Fig. 15.

réellement de l'eau, on peut se servir de l'appareil représenté dans la fig. 15. Du flacon à deux tubulures l'hydrogène passe d'abord dans un tube rempli de chlorure de calcium

(§ 89), qui lui enlève toute son humidité ; on l'enflamme alors en tenant au-dessus de la flamme une cloche en verre. Les vapeurs d'eau qui se sont produites viennent se condenser en gouttes visibles sur les parois de la cloche.

33. Propriétés de l'eau. Celles-ci nous sont déjà connues en partie soit par l'expérience journalière, soit par la physique. Mais ici il s'agit de certaines propriétés chimiques de l'eau, qui lui donnent une grande importance. Bien que l'eau ne soit ni acide, ni basique, mais neutre et indifférente, elle possède cependant une grande affinité pour beaucoup de combinaisons chimiques et notamment pour les acides et les bases. Les combinaisons de l'eau se nomment des *hydrates*. Dans la formation des hydrates, il se produit ordinairement une élévation de température, parce que l'eau passe à un état plus condensé et abandonne par conséquent une partie de son calorique latent (*Physique*, § 155). Comme exemples, citons l'échauffement produit lorsqu'on mélange de l'acide sulfurique anhydre avec de l'eau, et lorsqu'on éteint de la chaux.

Les acides s'emploient le plus généralement à l'état d'hydrates, par exemple, l'acide sulfurique hydraté $SO^2.HO$, et rarement à l'état anhydre. Lorsque ce dernier état n'est pas spécialement indiqué, on sous-entend toujours les hydrates quand on parle d'acides. L'eau d'hydratation ne peut pas être enlevée aux acides par la chaleur, et ne se sépare de l'acide que par l'affinité plus grande d'un oxyde métallique.

Les bases ou les oxydes métalliques acquièrent parfois, par leur combinaison avec l'eau, des couleurs particulières. C'est ainsi, par exemple, que l'oxyde de fer Fe^2O^3 est rouge, tandis que l'hydrate d'oxyde de fer $Fe^2O^3.HO$ est jaune. L'oxyde de cuivre CuO est noir, son hydrate $CuO.HO$ est bleu. Chauffés, la plupart des oxydes perdent leur eau d'hydratation, quelques-uns à une température plus basse, d'autres à une température plus élevée. L'hydrate de potasse $KO.HO$ et l'hydrate de soude $NaO.HO$ n'abandonnent pas leur eau, même sous l'influence de la chaleur la plus élevée.

L'eau se combine également avec les sels en formant avec les molécules de ceux-ci des cristaux solides : c'est pourquoi on la nomme dans cet état *eau de cristallisation*. Nous reconnaissons dans ce fait, comme nous l'avons vu pour les hydrates, que l'eau peut se convertir à l'état solide, non-seulement par une basse température, mais encore en vertu d'affinités chimiques. On distingue donc des *sels anhydres* et des sels contenant de l'eau de cristallisation. C'est ainsi que $NaO.SO^3$ est du sulfate de soude anhydre, tandis que $NaO.SO^3 + 10 HO$ est le même sel combiné avec 10 équivalents d'eau. Mais la plupart des sels perdent leur eau de cristallisation à l'air sec, ou lorsqu'on les chauffe jusqu'à 100° centigr. Dans ce cas, les particules d'eau rangées entre les particules de sel s'échappent, de sorte que ces dernières tombent en poussière, ce que l'on désigne par *efflorescence* des cristaux.

3.4. L'eau possède la propriété remarquable de convertir un grand nombre de corps solides à l'état liquide, ou, autrement dit, de les *dissoudre*. La dissolution paraît être moins une conséquence de l'affinité chimique que de l'adhésion que manifestent les particules d'eau pour les particules des corps solubles. Elles semblent se presser pour ainsi dire entre ces dernières pour détruire leur continuité. En effet, la dissolution ne modifie nullement les propriétés chimiques des matières ; par l'action de la chaleur, les particules d'eau peuvent être volatilisées, et les molécules de la matière dissoute reprennent leur continuité antérieure.

Lorsque, dans la dissolution d'une matière quelconque, je mets une nouvelle partie de cette matière, et que celle-ci n'est plus modifiée, la solution est *saturée*. Mais le liquide peut généralement absorber de nouvelles quantités du corps soluble, si l'on augmente sa température. Lorsque, par contre, celle-ci est abaissée, une partie de ce qui a été dissous se sépare, et cela le plus ordinairement sous forme régulière, *cristalline*. La dissolution est par conséquent un moyen d'obtenir les corps à l'état *cristallisé*. Mais lorsqu'on force subitement un corps dissous à passer de l'état liquide à l'état solide, par exemple, en refroidissant rapidement une dissolution saturée chaude, le corps ne se sépare pas sous forme de cristaux manifestes, mais sous forme d'un *précipité pulvérulent*. Ce dernier se produit aussi lorsqu'on ajoute à une solution un corps, qui forme avec le

corps dissous une combinaison insoluble. Lorsqu'on ajoute, par exemple, à une solution aqueuse de baryte BaO , de l'acide sulfurique, les deux corps se combineront et formeront du sulfate de baryte $BaO.SO^2$ insoluble, qui se déposera instantanément sous forme d'un précipité blanc.

C'est sur la solubilité de certains corps, sur l'insolubilité d'autres, ou sur les degrés différents de solubilité des différents corps, que repose la possibilité de séparer beaucoup d'entre eux les uns des autres; c'est pourquoi la manière dont ils se comportent vis-à-vis de l'eau constitue pour le chimiste un caractère très-important.

Les gaz aussi se dissolvent dans l'eau, ou, comme on dit, sont absorbés par l'eau, mais à un degré très-inégal. L'eau ordinaire contient par conséquent toujours une certaine quantité d'air atmosphérique et d'acide carbonique. Quand on fait bouillir l'eau, on chasse complètement l'air qu'elle renferme; c'est pourquoi de l'eau qui a bouilli et qui est refroidie prend un goût fade, et que les poissons y meurent.

35. C'est précisément cette faculté de dissolution qui fait que toute l'eau, telle que nous la puisons directement dans les sources diverses de la nature, n'est jamais de l'eau pure. Partout où elle vient en contact avec le sol, elle absorbe ce qui est soluble. C'est pourquoi une source qui provient de terrains peu solubles, comme la pierre de sable et le granit, fournit une eau très-pure qu'on nomme *douce*, tandis que si elle provient de roches calcaires, elle contient de la chaux et est *dure* ou *crue*; elle forme en bouillant une croûte dans les vases. Il en est de même de l'eau de citerne. Celle-ci contient souvent des matières organiques; il s'y trouve souvent de petits organismes vivants invisibles qui sont des plantes ou des animaux. Lorsque la source provient d'une grande profondeur, son eau a une température plus élevée: il y en a même qui ont la température de l'eau bouillante. On nomme les sources chaudes des *sources thermales*. Lorsque l'eau rencontre sur son chemin de l'acide carbonique, de l'acide sulfhydrique, des sels, etc., elle en dissout une certaine quantité et acquiert de cette manière des propriétés particulières, comme cela a lieu pour les sources d'*eaux minérales*. L'eau de mer tient en dissolution tant de sels, surtout du sel de cuisine et du sulfate de potasse, qu'elle n'est pas potable.

Pour obtenir de l'eau parfaitement pure, on doit la soumettre à la distillation dans des appareils spéciaux (voir *Physique*, § 139). L'eau distillée est privée de tous les éléments non volatils et ne laisse par conséquent pas la moindre trace de résidu lorsqu'on la fait évaporer sur une lame polie de platine ou sur une plaque de verre bien nette. Comme pureté, l'eau de pluie s'en rapproche le plus, celle-ci ayant pour ainsi dire été distillée dans l'atelier de la nature. C'est pourquoi on s'en sert préférentiellement dans certaines industries qui exigent une eau pure, comme la teinture, le lessivage, etc.

3. AZOTE.

Nitrogenium; N = 14; densité = 0.976. 1 litre pèse 1,25 gramme; découvert en 1772.

36. Cinq litres d'air ordinaire contiennent *quatre* litres d'azote mélangés avec *un* litre d'oxygène. Il constitue par conséquent les quatre cinquièmes de toute l'atmosphère. Les parties solides de la terre en contiennent au contraire une quantité proportionnellement petite. On le rencontre rarement dans les minéraux, en petite quantité seulement dans les matières végétales; en plus grande abondance, par contre, dans le corps des animaux.

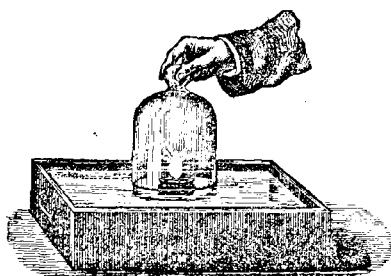


Fig. 16.

Pour préparer l'azote, on place sur la cuve à eau un bouchon, et sur celui-ci une petite capsule de porcelaine contenant du phosphore. On allume celui-ci et au-dessus de cet appareil flottant on place aussitôt une cloche qui plonge à peu près d'un pouce dans l'eau, de sorte qu'une cer-

taine quantité d'air se trouve séquestrée. Le phosphore, en brûlant, se combine avec l'oxygène de l'air renfermé dans la cloche, forme de l'acide phosphorique qui se dissout dans l'eau, tandis que l'azote reste dans la proportion de $\frac{4}{5}$ de l'air employé.

Ce gaz est incolore, inodore et nullement nuisible, car pendant la respiration et la déglutition il en entre constamment de grandes quantités dans les poumons et dans l'estomac. Cependant dans l'azote pur, les corps en combustion *s'éteignent* instantanément et les animaux y meurent bientôt, parce que l'oxygène indispensable à la respiration y fait défaut.

37. L'air atmosphérique est donc un mélange de $\frac{4}{5}$ d'azote et de $\frac{1}{5}$ d'oxygène. On a trouvé que cette proportion est en tous temps et en tous lieux la même, et on a pu par conséquent prendre la densité de l'air comme unité dans la détermination du poids spécifique des autres gaz. La densité de l'air atmosphérique est par conséquent = 1, et un litre pèse 1,29 gramme. Les propriétés physiques importantes de l'air ont été décrites au § 93 de la *Physique*. Mais il contient encore maintes matières volatiles, surtout de l'acide carbonique dans le rapport de 4 litres pour 10000 litres d'air, et de la vapeur d'eau, dont la quantité varie selon la température de l'air (*Physique*, § 250). Les autres impuretés de l'air, telles

que les exhalaisons des hommes, des animaux, des matières en putréfaction, disparaissent dans l'espace immense, et ne sont sensibles qu'au lieu même de leur production.

38. Combinaisons de l'azote. En comparaison avec les propriétés remarquables que nous observons dans l'oxygène et dans l'hydrogène, l'azote apparaît comme un corps insignifiant. Cela dépend du peu d'affinité qu'il manifeste pour les autres éléments, de telle sorte qu'on connaît à peine une combinaison d'azote dans la grande série des métaux.

Néanmoins, l'azote offre un grand intérêt au chimiste par ses combinaisons ; car avec l'oxygène il forme l'*acide azotique* NO^5 ; avec l'hydrogène, l'*ammoniaque* NH^3 , une forte base, et avec le carbone il s'unit pour former le *cyanogène* C^2N , corps qui, dans ses actions chimiques, présente la plus grande analogie avec plusieurs corps simples.

39. Combinaisons de l'azote avec l'oxygène. Les plus importantes sont :

NO^5HO	= Hydrate d'acide azotique.
NO^4	= Acide hypoazotique.
NO^3	= Acide azoteux.
NO^2	= Deutoxyde d'azote.

1. L'acide azotique se trouve combiné avec la soude, au Chili, dans un minéral qu'on nomme *salpêtre du Chili*, ou *azotate de soude* NaO.NO^5 . On s'en sert pour préparer l'acide azotique. Pour cela on prend l'équivalent de ce sel et l'équivalent d'acide sulfurique, et on les soumet à la distillation.

NaO .	NO^5	= azotate de soude.
SO^3 .	HO	= hydrate d'acide sulfurique.
<hr/>	<hr/>	
NaO.SO^3	$\text{NO}^5.\text{HO}$	
= sulfate de soude	= acide azotique hydraté	
(reste comme résidu).	(est distillé).	

La distillation se fait dans une cornue de verre, et un jet d'eau rafraîchit constamment le récipient où les vapeurs d'acide azotique vont se condenser. (V. fig. 17.)

L'*acide azotique* $\text{NO}^5.\text{HO}$ est un liquide incolore, d'une densité de 1.42, qui répand à l'air des fumées blanches, ce qui lui a fait donner le nom d'*acide azotique fumant*. Il a une odeur caractéristique et une saveur caustique. Il se décompose très facilement. A la lumière du soleil, il prend une couleur jaune, parce qu'une partie se décompose en oxygène et en acide azoteux d'un brun rouge NO^3 . Chauffé fortement, il subit la même décomposition. Les matières végétales et animales soumises à l'influence de

l'acide azotique deviennent d'abord jaunes, puis elles se détruisent; la plupart des métaux sont dissous par l'acide azotique. Dans tous ces cas,

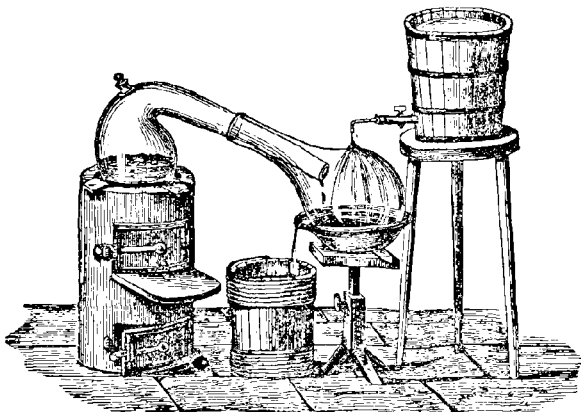


Fig. 17.

l'acide azotique abandonne à ces corps une partie de son oxygène et les oxyde. Il est pour cette raison un *moyen d'oxydation* fréquemment employé par les chimistes, mais en même temps un liquide extrêmement dangereux.

Dans le commerce on rencontre un acide azotique étendu d'eau et coloré en jaune qu'on nomme *eau forte*, d'une densité d'environ 1,2 et se vendant à raison de 45 francs les 50 kilogrammes. L'acide azotique s'emploie en médecine, dans la teinture, pour la dissolution des métaux, etc.

Il est à remarquer qu'il se forme de l'acide azotique lorsque de fortes étincelles électriques passent dans l'air humide : c'est pourquoi l'eau des pluies d'orage contient un peu d'acide azotique. Cet acide se produit également lorsque des matières animales contenant de l'azote sont mélangées à de la chaux ou à des cendres et abandonnées à la décomposition lente.

2. L'*acide azoteux* NO^2 est un gaz brun rouge, d'une odeur étouffante, qui se produit avec l'acide azotique, en enlevant à celui-ci de l'oxygène, par exemple en le chauffant avec de l'amidon.

3. Le *gaz deutoxyde d'azote* NO^2 se produit dans l'action de l'acide azotique sur les métaux, par exemple, sur la tournure de cuivre. Il est incolore et le phosphore y brûle presque aussi vivement que dans l'oxygène. La propriété la plus remarquable de ce gaz est de former au contact de l'air instantanément des vapeurs d'un rouge brun foncé, parce qu'il se combine avec deux équivalents d'oxygène et se transforme en

4. *Acide hypoazotique* NO^4 . L'acide hypoazotique ainsi formé se décompose très facilement. En contact avec l'eau, il se décompose en acide azotique hydraté et en deutoxyde d'azote $3NO^4 + 2HO = 2(NO^5.HO) + NO^2$; en contact avec des corps oxydables, il cède à ceux-ci de l'oxygène et il reste du gaz deutoxyde d'azote. Ce dernier peut alors absorber de nouveau de l'air, se transformer encore une fois en acide hypoazotique, et devenir ainsi, par absorption et cession alternatives d'oxygène, un moyen d'oxydation dont on se sert avec grand avantage dans la fabrication de l'acide sulfurique.

4. SOUFRE.

Sulphur; S = 16; densité = 2,0.

40. En Sicile et dans les environs de Naples on trouve de grandes masses de soufre natif gisant entre la pierre calcaire et de la marne argileuse. Comme dans l'extraction il n'est pas possible de le séparer entièrement

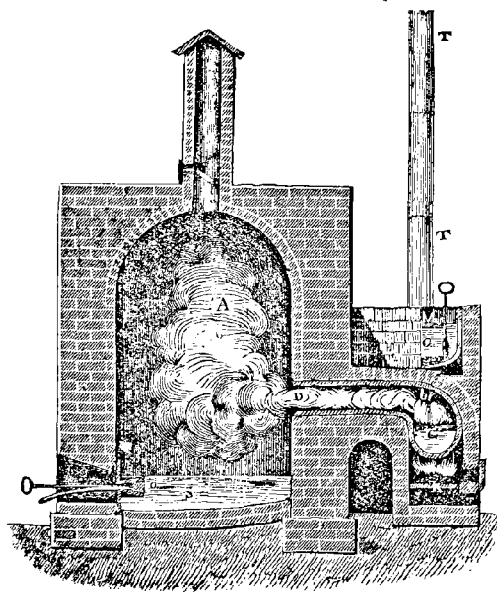


Fig. 18.

de ces matières terreuses, on le raffine, c'est-à-dire, on le purifie. Le soufre cru est chauffé dans la chaudière G (fig. 18); il se transforme alors en vapeur, qui passe par le canal D dans une grande chambre A, où il se refroidit et tombe à terre sous forme d'une poussière jaune qu'on nomme fleurs de soufre. Mais au bout de quelque temps, la chambre devient tellement chaude que le soufre fond. Alors on le laisse écouler

de temps en temps par l'ouverture O et on le coule dans des formes cylindriques, où il se refroidit et prend le nom de soufre en canons; 50 kilog. coûtent 21 francs; 50 kilogr. de fleurs de soufre coûtent 22 francs 50 centimes.

Mais on trouve le soufre encore en d'autres endroits, la plupart du temps combiné avec des métaux, par exemple, le sulfure de fer FeS^2 , le sulfure de cuivre CuS , etc., ou avec de l'oxygène formant de l'acide sulfurique, comme dans le sulfate de chaux ou plâtre $CaO.SO^2$, qui remplit des couches entières de montagnes. Le soufre se trouve encore dans certaines matières végétales et animales, notamment dans toutes les matières albumineuses et en général dans celles qui en se putréfiant acquièrent l'odeur d'œufs pourris.

Les propriétés ordinaires du soufre sont généralement connues; il en est de même de ses usages pour couler des monnaies ou des médailles, pour faire des allumettes soufrées, ainsi que de son emploi en médecine. Il sert aussi en quantité considérable comme

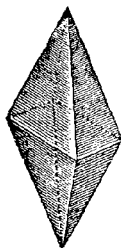


Fig. 19.

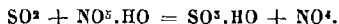
addition aux matières fabriquées avec le caoutchouc. Le soufre fond à 111° cent, il bout à 400° C. et se transforme en vapeur rouge; il est insoluble dans l'eau; l'alcool, l'éther, les huiles grasses et volatiles n'en dissolvent que de très petites quantités; il se dissout, par contre, dans l'huile de lin et l'essence de térébenthine bouillantes et en très-grande abondance dans le sulfure de carbone. En laissant évaporer cette dernière dissolution, on peut obtenir le soufre cristallisé en beaux octaèdres rhombiques transparents (fig. 19). Frotté avec de la laine, le soufre acquiert

des propriétés électriques.

41. Combinaisons du soufre. Le soufre forme avec l'oxygène une série de combinaisons, dont nous décrivons les plus importantes :

L'acide hyposulfureux	= $S^2 O^2$
L'acide sulfureux.....	= SO^2
L'acide sulfurique hydraté.....	= $SO^2.HO$

1. L'acide sulfurique hydraté fait l'objet d'une fabrication très étendue. A cet effet on brûle du soufre, qui se transforme ainsi en *acide sulfureux* SO^2 , que l'on fait passer, en mélange avec des *vapeurs d'eau* et de *l'air*, à travers une série de grands compartiments dont les parois sont tapissées de feuilles de plomb et qu'on nomme pour cette raison *chambres de plomb*. Dans la première chambre, l'acide sulfureux arrive en contact avec de l'*acide azotique*, qui coule par un petit jet et se répand sur une terrasse qui s'y trouve. L'acide azotique est décomposé; il cède de l'oxygène à l'acide sulfureux; il se forme de l'*acide sulfurique* et de l'*acide hypoazotique* NO^4 .



Comme nous l'avons démontré au § 39, l'acide hypoazotique en contact avec la vapeur d'eau se décompose en acide azotique et en *deutoxyde*

d'azote ; ce dernier absorbe instantanément l'oxygène de l'air et se transforme de nouveau en acide hypoazotique. Nous avons donc dans le deutroxyde d'azote un corps intermédiaire qui absorbe constamment de l'oxygène de l'air pour le céder à l'acide sulfureux et transformer celui-ci en acide sulfurique. D'après cela, une quantité donnée d'acide azotique devrait servir indéfiniment à transformer l'acide sulfureux en acide sulfurique ; mais des pertes inévitables obligent à renouveler l'arrivée de l'acide azotique, dont il faut 10 livres pour convertir 100 livres de soufre en acide sulfurique. L'acide sulfurique produit dans les chambres à plomb s'y accumule sur le plancher ; mais, comme il contient par trop d'eau, on le concentre dans un alambic de *platine*. Les vapeurs d'eau s'échappent et l'acide concentré qui reste possède à la température ordinaire une pesanteur spécifique de 1,848 et ne bout qu'à 326° C. Bien que les vases distillatoires qu'on emploie soient extrêmement coûteux, puisque un seul coûte de 60 à 100 mille francs, on les préfère cependant aux cornues de verre à cause de leur durée.

L'acide sulfurique hydraté est un liquide incolore, inodore, d'une acidité extrêmement caustique et qui se distingue par sa faculté, on pourrait dire par son avidité, à se combiner encore avec une plus grande quantité d'eau. Il attire l'eau de l'air humide, des matières végétales et animales, de telle sorte que dans ces dernières le carbone est mis à nu ; c'est pourquoi l'acide sulfurique les noircit presque instantanément, les carbonise et les détruit entièrement. Aussi, dans les mains d'un ignorant ou d'un imprudent cet acide est-il un liquide fort dangereux. Quand on mélange de l'acide sulfurique avec de l'eau, il se produit un fort dégagement de chaleur ; c'est pourquoi on ajoute à l'eau l'acide sulfurique très insensiblement. Jamais on ne doit verser l'eau dans l'acide sulfurique, car, par l'échauffement subit qui se produirait, l'acide jaillirait tout autour, comme cela se passe lorsqu'on verse de l'eau dans de la graisse bouillante.

L'acide sulfurique dissout la plupart des métaux et possède une telle affinité pour les oxydes métalliques, qu'il expulse presque tous les autres acides qui étaient combinés avec eux. On s'en sert pour cette raison dans la préparation de la plupart des acides, tels que les acides azotique, phosphorique, acétique chlorhydrique, etc. Il doit être considéré comme la base de la grande fabrication chimique, et on peut s'expliquer ainsi comment, lorsque en 1840 Naples avait mis des obstacles à l'exportation du soufre, l'Angleterre était sur le point de lui déclarer la guerre : elle voyait pour le moment toute son activité industrielle en péril ; car des 1,880,000 quintaux de soufre qui furent exportés de Sicile en 1852, 700,000 étaient destinés à l'Angleterre seule. On peut se faire une idée de la consommation énorme de cet acide, quand on apprend que quelques-unes des plus grandes fabriques travaillent actuellement 100,000 quintaux

de soufre et produisent annuellement 300,000 quintaux d'acide sulfurique. Le prix de la soude, de l'acide chlorhydrique, du chlore, des allumettes, des bougies stéariques, des cotons, des papiers, etc., sont en connexion intime avec le prix du soufre, et on peut poser en fait que la consommation de ce corps dans un pays peut donner une mesure de son industrie. Un quintal coûte 12 francs.

2. *L'acide sulfurique fumant*, qui est un mélange d'acide sulfurique anhydre avec l'acide hydraté $=SO^3.HO \div SO^3$, s'obtient par la distillation du sulfate de fer $FeO.SO^3$ dans des cornues de terre préalablement grillées. C'est un liquide huileux, de couleur brunâtre, qu'on nommait pour cette raison autrefois de *l'huile de vitriol*. A l'air, cet acide répand des vapeurs d'acide sulfurique anhydre; c'est en cela, et surtout par sa propriété de dissoudre l'indigo, qu'il se distingue de l'hydrate. On appelle aussi cet acide fumant *acide sulfurique de Nordhausen* ou de *Saxe*. Lorsqu'on chauffe cet acide doucement dans une cornue, les vapeurs d'*acide sulfurique anhydre* SO^3 s'échappent et se condensent, dans le récipient refroidi, en aiguilles cristallines longues et soyeuses.

42. *L'acide sulfureux* SO^2 se produit lorsqu'on échauffe du soufre à l'air. Celui-ci brûle alors avec une flamme bleue et forme un gaz incolore d'une odeur piquante et suffocante. L'acide sulfureux s'empare insensiblement de l'oxygène de l'air et devient ainsi de l'acide sulfurique. Lorsqu'on brûle suffisamment de soufre dans un tonneau, l'air qui y est contenu perd tout son oxygène, et par conséquent la faculté de transformer en vinaigre le vin qu'on y versera. Ce que l'on nomme le *soufrage* des tonneaux a donc d'abord pour but d'en éloigner l'oxygène, ce qui s'oppose également à la production de la moisissure, qui est si nuisible au vin. L'acide sulfureux est encore employé contre la gale et pour le blanchiment de la paille, de la laine et des plumes. Pour les besoins du laboratoire, on prépare l'acide sulfureux au moyen de l'acide sulfurique, en chauffant celui-ci dans une cornue avec du soufre ou du charbon, qui lui enlèvent l'équivalent d'oxygène.

L'acide hyposulfureux S^2O^2 se forme, lorsqu'on fait bouillir une dissolution de sulfite de soude avec du soufre; il se forme de l'*hyposulfite de soude* $NaO.SO^2 \div S = NaO.S^2O^2$, dont on ne peut pourtant pas isoler l'acide sans qu'il se décompose.

43. *L'acide sulfhydrique*, *S H*, est un gaz incolore, d'une odeur fétide, qui se développe lorsqu'on verse sur un sulfure métallique, par exemple sur *du sulfure de fer*, FeS , de l'acide sulfurique étendu. Il se produit encore quand des matières végétales ou animales qui contiennent du soufre se putréfient, ainsi surtout dans les fosses d'aisances; il se reconnaît facilement à son odeur, que les œufs pourris développent à un degré particulier. Ce gaz est un poison violent et tue instantanément lorsqu'il est

respiré pur. Ce gaz détermine fréquemment des accidents lorsque des ouvriers descendent imprudemment pour nettoyer des fosses d'aisances et des égouts. Dans ces cas l'inspiration *prudente* de chlore mêlé avec de l'air est le meilleur contre-poison.

L'acide sulfhydrique est soluble dans l'eau, et lui communique ses propriétés, que nous reconnaissons entre autres dans les eaux minérales sulfureuses, qui renferment ce gaz fétide en dissolution.

Ce qui est surtout important pour le chimiste, c'est l'action de cet acide sulfhydrique sur les métaux pesants et sur leurs oxydes ; car lorsque l'acide sulfhydrique rencontre une solution d'un oxyde métallique (par exemple d'oxyde de plomb *Pb O*), le soufre se combine avec le métal et donne un sulfure insoluble, qui se précipite aussitôt avec sa *coloration particulière*. On dit par conséquent : l'acide sulfhydrique précipite les métaux de leurs solutions en formant des sulfures métalliques. Il est ainsi un moyen extrêmement précieux non-seulement pour découvrir la présence d'un métal dans un liquide, mais encore pour extraire complètement le métal de ce dernier.

Par l'acide sulfhydrique se précipitent :

Avec une couleur brun noir ou noire : le plomb, le cuivre, le bismuth, le mercure,

l'argent, l'or, le platine, l'oxyde de fer * (1), le cobalt * et le nickel *.

Avec une couleur jaune : l'oxyde d'étain, l'arsenic.

Avec une couleur blanche : le zinc *.

Avec une couleur de chair : le manganèse *.

Avec une couleur orange : l'antimoine (1).

Quand des cuillers d'argent se couvrent de taches noires après avoir servi à certains mets, surtout pour des poissons ou des œufs ; quand encore des peintures fraîches de céruse noircissent lorsqu'on vide les fosses d'aisances, cela dépend uniquement de la formation de sulfures métalliques. L'argenterie noircie se nettoie en la frottant avec du sel de cuisine.

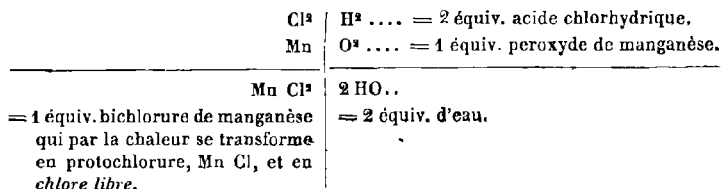
5. CHLORE.

Cl = 35,5 ; densité = 2,44. 1 litre pèse 5,17 grammes.

44. Le chlore ne se rencontre guère que dans le règne minéral et la plupart du temps combiné avec le sodium, formant ainsi un corps que tout le monde connaît sous le nom de *sel de cuisine*, tandis que le chimiste le

(1) Les métaux marqués d'un astérisque (*), ne sont précipités par l'acide sulfhydrique que de leurs solutions basiques ; les autres, de leurs solutions acides.

nomme *chlorure de sodium*. Pour isoler le chlore, on chauffe de l'*acide chlorhydrique* avec un peu de *peroxyde de manganèse* :



Le chlore diffère notablement des gaz qui précèdent. Il a une couleur faiblement jaune verdâtre et une odeur particulière, suffocante. Lorsqu'on le respire, il attaque violemment le poumon, de telle sorte qu'il doit être désigné comme toxique et que tous les travaux avec le chlore doivent se faire avec précaution. Ce gaz est soluble dans l'eau et lui communique ses propriétés (*eau de chlore*).

45. Combinaisons du chlore. Le chlore témoigne une affinité extrêmement grande pour les autres corps et surpasse même en cela, dans certains cas, l'oxygène. Il attaque l'or et tous les autres métaux et se distingue surtout par son affinité pour l'hydrogène. Partout où il trouve ce dernier combiné à d'autres corps, il cherche à s'en emparer et à former avec lui l'*acide chlorhydrique Cl H*. Mais comme tous les corps végétaux et animaux contiennent de l'hydrogène (§ 32), ils sont détruits sans exception lorsqu'on les place dans le chlore gazeux. Si cela n'a lieu que pendant peu de temps, ils ne sont détruits qu'à la surface. Cependant on a su tirer de cette propriété dangereuse du chlore des applications extrêmement utiles. Comme la plupart des matières colorantes du règne végétal, ainsi que tous les gaz nuisibles et fétides qui se forment pendant la putréfaction des plantes et des animaux, renferment de l'*hydrogène*, on n'a qu'à les mettre en rapport avec le chlore, qui les détruit en leur enlevant leur hydrogène. De là est venu l'emploi si important du chlore dans le *blanchiment*, et dans la purification ou *désinfection* de l'air.

Le chlore forme avec l'*oxygène* une série de combinaisons, parmi lesquelles l'*acide chlorique Cl O³*, et l'*acide hypochloreux Cl O* sont les plus importants ; mais comme ils ne sont employés qu'unis à des bases, leur description sera faite plus tard.

Lorsqu'on mêle ensemble des volumes égaux de *chlore* et d'*hydrogène*, ils se combinent avec une violente explosion au moment où on les expose à l'action directe de la lumière du soleil. A l'ombre ou à la lumière d'une bougie, on peut réunir sans danger ces gaz dans une bouteille. C'est là une des expériences chimiques les plus intéressantes !

Quand on verse de l'acide sulfurique sur du sel de cuisine et que l'on conduit le gaz acide chlorhydrique qui se développe, dans de l'eau jusqu'à ce que celle-ci en soit saturée, on obtient l'*acide chlorhydrique aqueux*. C'est un liquide incolore, d'une odeur et d'une saveur très aigres, mais qui exerce une action destructive moindre que l'acide azotique et l'acide sulfurique. Cet acide s'obtient en très grande quantité comme produit secondaire dans la fabrication de la soude, mais alors il contient du fer, qui le rend impur, et il est coloré en jaune. Pour cette préparation on soumet dans un cylindre en fer de fonte A (fig. 20), du sel de cuisine et de l'acide

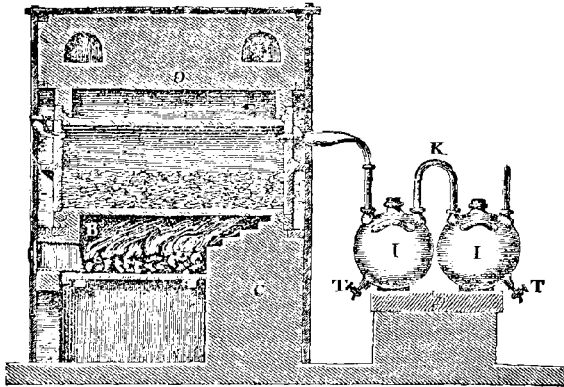


Fig. 20.

sulfurique à l'action de la chaleur; on conduit l'acide chlorhydrique qui s'échappe à travers plusieurs bonbonnes en grès à moitié remplies d'eau. A 20° C. un volume d'eau absorbe 470 volumes de gaz acide chlorhydrique. Le liquide est alors saturé et se nomme *acide chlorhydrique fumant*, parce qu'il s'en dégage des vapeurs; son poids spécifique est de 1,24 et il contient 42 p. c. de *Cl H*. Il bout à 110° C., et si on le soumet alors à la distillation, il contient 20 p. c. *Cl H* et sa densité est de 1,10.

L'acide chlorhydrique s'emploie à une foule d'usages, car on l'utilise en médecine, dans beaucoup d'industries chimiques, surtout pour obtenir le chlore. Un quintal d'acide chlorhydrique coûte 6 francs.

L'*eau régale* est un mélange de 1 partie acide azotique et 4 parties acide chlorhydrique; aussitôt qu'on la chauffe, elle prend une couleur jaune, parce que l'oxygène de l'acide azotique oxyde l'hydrogène de l'acide chlorhydrique et il se dégage du chlore et de l'acide hypoazotique. C'est ainsi que ce liquide dissout l'or et le platine.

6. BROME.

Br. = 80; densité = 2,97.

46. Nous avons ici affaire à un corps des plus rares qui n'est connu que depuis 1826. Le brome ne se trouve qu'en petite quantité, combiné au sodium et au magnésium, dans les sels de l'eau de mer et de quelques sources salines, notamment dans celle de *Kreuznach*, qui, de toutes celles actuellement connues, est la plus riche en bromures métalliques.

A l'état pur, le brome constitue un liquide pesant d'un rouge brun foncé, d'une odeur particulière, ressemblant à celle du chlore. A -7° C. il se congèle en une masse feuilletée grise. Le brome est un poison; il n'a pas d'application dans les arts; mais on attribue aux sources dans lesquelles il se trouve une action médicinale particulière.

7. IODE.

I = 127; densité = 4,95.

47. Quoiqu'il se rencontre plus fréquemment que le corps précédent, l'iode est cependant un des corps rares et ne fut découvert qu'en 1812. Il se trouve uni au sodium et au magnésium dans l'eau de mer, ainsi que dans presque toutes les matières végétales et animales recueillies dans la mer. Il existe aussi quelques sources qui contiennent des combinaisons d'iode.

L'iode est solide, d'un gris noir, d'un éclat métallique, ressemblant assez à la mine de plomb; il a une odeur désagréable, particulière, rappelant celle du chlore; il colore en *brun* la peau et les matières végétales, lorsqu'elles ont été quelque temps en contact avec lui. Lorsqu'on le chauffe, il se transforme en une vapeur *violette* de toute beauté, qui, en se refroidissant, se condense de nouveau en paillettes noires, luisantes. L'iode se distingue encore par la propriété de communiquer une couleur *violet foncé* à l'amidon avec lequel on le met en contact. On possède de cette manière des réactifs précieux tant de l'iode que de l'amidon. Un demi-kilogramme coûte 15 francs.

L'iode lui-même, aussi bien que dans ses combinaisons métalliques, est un poison. Néanmoins il est un médicament précieux employé contre les engorgements des glandes, le goître et les maladies scrofuleuses. L'huile de foie de morue, les harengs, l'éponge brûlée contiennent de l'iode et lui doivent en partie leur action médicinale.

On obtient l'iode en distillant de l'iodure de sodium avec du peroxyde de manganèse et de l'acide sulfurique. Par rapport à leurs propriétés

tant comme corps simples que dans leurs combinaisons chimiques, il y a dans l'iode aussi bien que dans le brome une ressemblance frappante avec le chlore; ces trois corps forment un groupe à caractères très ressemblants.

Parmi les combinaisons de l'iode, c'est surtout l'*iodure d'argent* qui est important à cause de sa sensibilité à l'influence de la lumière. Lorsqu'on dissout de l'iode dans de l'alcool et qu'on mélange la solution avec de l'ammoniaque liquide, on obtient un précipité noir qui se compose d'iode et d'azote. Après la dessiccation, cet *iodure d'azote* se décompose instantanément au moindre contact et avec une explosion violente. On ne fait par conséquent cette expérience qu'en petit et avec prudence.

8. FLUOR.

Fl = 19.

48. Le *spath fluor*, minéral que l'on rencontre en beaucoup d'endroits, mais jamais en grandes masses, est une combinaison de fluor et de calcium *Ca Fl*. Le fluor est un corps gazeux dont la préparation et l'étude offrent cependant de grandes difficultés, parce que, en vertu de son affinité énergique, il attaque tous nos vases, même ceux en verre et en platine.

L'*acide fluorhydrique Fl H* se développe sous forme de vapeurs acides et piquantes, lorsqu'on traite du spath fluor par l'acide sulfurique et qu'on chauffe. Lorsque ces vapeurs viennent en contact avec le verre, l'acide silicique *Si O³* contenu dans ce dernier est décomposé et il se forme du *fluorure de silicium Si Fl²* et de l'eau. C'est sur ce fait que repose l'application de l'acide fluorhydrique à la *gravure sur verre*. A cet effet on recouvre une lame de verre d'une couche légère de cire ou de vernis de lithographe et on la noircit à la lumière d'une chandelle; puis on y dessine avec une aiguille. Ainsi préparée, on place cette feuille comme un couvercle sur un vase de plomb suffisamment grand, dans lequel on met de la poudre de spath fluor et de l'acide sulfurique et qu'on chauffe doucement; des vapeurs d'acide fluorhydrique se forment et attaquent le verre aux places entamés. Au bout de 10 à 20 minutes, on éloigne la feuille de verre, on la chauffe et on en essuie la cire, et le dessin apparaît. Mais ces vapeurs sont nuisibles et attaquent même la peau; c'est pourquoi il faut user de prudence.

9. PHOSPHORE.

P = 31; densité = 1.826.

49. Bien que le phosphore soit assez répandu, puisqu'on trouve presque partout des phosphates dans le sol, il ne se rencontre toujours qu'en

petites quantités. Les sels contenant le phosphore sont absorbés dans le sol par les plantes, et celles-ci servant de nourriture aux animaux, le phosphore arrive ainsi dans le corps de ceux-ci. En effet ce dernier nous semble être un véritable réservoir de phosphore, car on en trouve dans le cerveau, dans la substance nerveuse, dans les œufs et dans la viande.

Mais la plus grande quantité de cette substance se rencontre dans les os, qui se composent de phosphate de chaux, et tout le phosphore du commerce est extrait des os. Le squelette d'un homme adulte pèse de 9 à 12 livres, et contient 5 à 7 livres de phosphate de chaux, dans lequel se trouve de 1 à 1 $\frac{1}{3}$ livre de phosphore.

La préparation du phosphore est toujours précédée de celle de l'*acide phosphorique*. On obtient celui-ci en traitant des os calcinés à blanc (de la cendre d'os) par l'acide sulfurique. Celui-ci s'unit à la chaux en formant un sulfate de chaux insoluble $Ca O. S O_3$, et élimine l'acide phosphorique, qu'on condense par évaporation et qu'on soumet, mélangé à de la poudre de charbon, dans des cornues de terre à une grande chaleur. Le phosphore débarrassé de son oxygène par le charbon est distillé et se condense dans des récipients remplis d'eau.

Le phosphore à l'état le plus pur est un corps incolore, transparent, mou comme de la cire, pouvant se couper au couteau. Mais exposé à la lumière, il se colore en jaune et en rouge et devient opaque; exposé à l'air, il dégage des vapeurs blanches, d'une odeur alliagée, qui luisent dans l'obscurité. Jusqu'ici on considérait ces vapeurs blanches comme de l'acide phosphoreux PO_3 provenant de l'oxydation du phosphore; mais des expériences récentes de Schœnbein ont démontré que ces vapeurs blanches n'étaient autre chose que de l'azotite d'ammoniaque formé aux dépens de l'azote et de l'humidité de l'air. Chauffé dans une cornue, le phosphore fond à 44° C., bout à 290° C, et se vaporise; à l'air il s'enflamme déjà à 70° C. et brûle avec une lumière éclatante en formant de l'*acide phosphorique* PO_5 . La facilité avec laquelle le phosphore s'enflamme en fait un corps dangereux à manier. La chaleur de la main, surtout lorsqu'il y a en même temps un petit frottement, suffit pour l'enflammer. On le conserve pour cette raison dans des vases remplis d'eau, et les expériences qu'on fait avec lui exigent des mesures de prudence, dont l'oubli a occasionné souvent des accidents regrettables.

Lorsqu'on chauffe pendant assez longtemps et jusqu'à 240° C. du phosphore dans un vase rempli de gaz hydrogène, il subit une modification très-remarquable; il se transforme en un corps rouge brun, qu'on désigne sous le nom de *phosphore amorphe*, qui est inaltérable à l'air et ne s'enflamme que lorsqu'il est échauffé au delà de 200° C.; mais lorsqu'il est chauffé à l'abri de l'air jusqu'à 260°, il reprend les propriétés du phosphore ordinaire. La différence remarquable entre les deux

espèces de phosphore, ne dépend donc pas d'une composition chimique différente, mais d'un arrangement différent des molécules du phosphore.

Le phosphore est soluble dans l'éther, les graisses et les huiles, et ces dissolutions servent en médecine. A l'intérieur, le phosphore est un poison violent. Aussi l'emploie-t-on beaucoup pour détruire les souris et les rats sous forme d'une pâte composée de 4 parties de phosphore et de 8 parties de farine et préparée avec de l'eau chaude.

La facilité avec laquelle le phosphore s'enflamme est devenue la cause de son emploi pour les allumettes, si commodes, nommées *allumettes chimiques*, dont la consommation a fait augmenter en proportion égale la fabrication du phosphore. La pâte qui sert à la préparation de ces allumettes se fait de la manière suivante : on prend 4 parties de gomme et 4 parties d'eau; on en prépare un mucilage, qu'on chauffe, puis on y met $1\frac{3}{4}$ parties de phosphore, que l'on mélange très-intimement en y ajoutant encore 2 parties de salpêtre et 2 parties de minium.

L'histoire du phosphore est assez intéressante. Il fut découvert par hasard, en 1669, par un homme qui voulait faire de l'or. Au commencement, à cause de sa rareté, il se vendait son poids d'or, et aujourd'hui, il est descendu à 7 francs le kilogramme, et il y a des fabriques qui produisent, chaque jour, 100 livres de phosphore. Il y a là une preuve remarquable du perfectionnement dont la fabrication est susceptible et de la manière dont l'industrie sait, au fur et à mesure de l'augmentation de la consommation, trouver de nouveaux perfectionnements dans la fabrication pour parvenir à produire à un prix de plus en plus bas,

50. Combinaisons du phosphore. L'acide phosphorique anhydre $P O^5$ s'obtient sous forme d'une neige blanche lorsqu'on brûle du phosphore

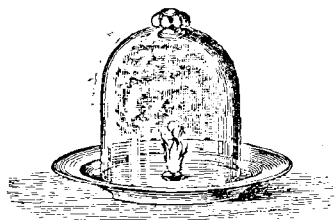


Fig. 21.

sous une cloche de verre (fig. 21). L'acide phosphorique hydraté $P O^5.HO$ reste comme résidu sous forme d'une substance vitreuse, quand on oxyde du phosphore au moyen d'acide azotique et qu'on fait disparaître l'eau en excès par l'évaporation dans un vase de platine. En absorbant de l'eau, cet acide peut se convertir en bihydrate $P O^5.2HO$ et en un trihydrate $P O^5.3HO$; le premier et le

second hydrate forment avec l'oxyde d'argent des sels blancs insolubles; le sel d'argent du trihydrate est jaune.

L'acide phosphoreux $P O^3$ s'obtient par l'oxydation lente du phosphore à l'air humide; l'acide hypophosphoreux $P O$ se forme simultanément avec

le gaz *hydrogène phosphoré* $P H^3$ lorsque, dans une fiole *a* (fig. 22), on chauffe un peu de phosphore dans une solution de potasse. Le gaz hydro-

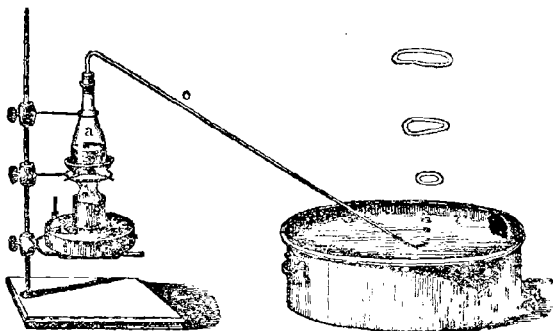


Fig. 22.

gène phosphoré possède une odeur nauséabonde de poisson pourri, mais en même temps la propriété remarquable de s'enflammer spontanément dès qu'il arrive au contact de l'air et de brûler en formant des anneaux nébuleux blancs.

10. ARSENIC.

As = 75 ; densité = 5,5.

L'arsenic possède tant de propriétés communes aux métaux, qu'il forme la transition des corps métalloïdes aux métaux et qu'il a même été rangé parmi les métaux par certains chimistes. Il a effectivement un aspect gris, un éclat métallique et une pesanteur spécifique assez considérable. Nous n'avons donc pas hésité à mentionner au § 45 ses sulfures parmi les sulfures métalliques.

On trouve l'arsenic en partie à l'état natif et en partie en combinaison, soit avec le soufre, soit avec des métaux, comme le fer, le cuivre, le nickel et le cobalt. Comme il est volatil, il est facile de le séparer de ceux-ci par sublimation. (V. *Physique*, § 139.) L'arsenic métallique n'a que peu d'applications. La vapeur de l'arsenic a une odeur d'ail pénétrante.

Combinaisons de l'arsenic. L'*acide arsénieux* $As O^3$ s'obtient lorsqu'on chauffe de l'arsenic dans un courant d'air atmosphérique. Il se forme des vapeurs blanches qui se condensent en poudre fine, qu'on nomme *arsenic blanc* ou *mort aux rats*. Nous comprenons donc sous le nom d'*arsenic* le corps simple métallique, et ce que l'on nomme vulgaire-

ment arsenic est de l'*acide arsénieux*. Celui-ci n'a ni odeur, ni saveur : il est un peu soluble dans l'eau et vénéneux au plus haut degré. C'est de cette dernière qualité qu'on abuse malheureusement trop souvent dans des intentions criminelles, et les empoisonnements par l'arsenic sont les plus fréquents. Ils s'annoncent généralement par des vomissements et des tranchées abdominales, qui se terminent par des convulsions terribles et par la mort. Comme antidote, on emploie la *magnésie* $Mg O$ et, de préférence, l'*oxyde de fer hydraté* $Fe^2 O^3.HO$, qui forme avec l'acide arsénieux une combinaison insoluble n'ayant pas d'action toxique sur le corps.

Ce qui est important, c'est de pouvoir en justice fournir la preuve qu'un empoisonnement a eu lieu au moyen de l'arsenic. Cela ne peut se faire que lorsqu'on retrouve et qu'on reconnaît distinctement le poison dans le corps de la victime. En recherchant attentivement dans les intestins ou les matières vomies, on parvient assez souvent à retrouver quelques parcelles d'arsenic qui, à raison de sa pesanteur, se dépose facilement. Une petite poussière, pas plus grande que la pointe d'une aiguille, suffit pour démontrer si ce qu'on a trouvé est de l'arsenic ou non. On le met dans un tube de verre (fig. 23), on y ajoute un peu de



Fig. 23.

charbon qu'on a rendu incandescent, puis on chauffe la pointe du tube. Si la matière était réellement de l'acide arsénieux, son oxygène s'unirait au charbon ardent et il se déposerait dans le tube un anneau noir brillant d'arsenic métallique.

L'acide arsénieux s'emploie dans certaines industries, comme dans les fabriques de verre, pour des couleurs, pour la destruction d'animaux nuisibles et du fongus du bois.

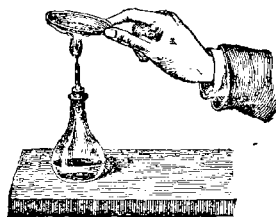


Fig. 24

Le gaz hydrogène arsénié $As H^3$ se forme lorsqu'on met dans un flacon à deux tubulures de l'acide arsénieux, du zinc et de l'acide sulfurique. Il est incolore, très-vénéneux, et brûle avec une flamme blanche; si l'on tient dans cette flamme une soucoupe de porcelaine blanche

(fig. 24), il se produit sur celle-ci des taches noires luisantes d'arsenic métallique, ce que l'on nomme le *miroir arsenical*. Des quantités infiniment petites d'arsenic peuvent se découvrir de cette manière.

Le gaz hydrogène antimonié $S^6 H^b$ se forme et se décompose aussi dans des circonstances semblables, mais le miroir formé par l'antimoine est plus noir; une dissolution de chlorure de chaux, qui dissout facilement le miroir d'arsenic, laisse le miroir d'antimoine intact.

Sulfure d'arsenic. L'arsenic se combine en deux proportions avec le soufre. Le *sulfure d'arsenic jaune* $As S^3$, nommé aussi *orpiment*, se rencontre comme minéral et s'emploie, mais peu fréquemment, pour sa belle couleur jaune. Le *sulfure d'arsenic rouge* $As S^2$, nommé aussi *réalgar*, s'obtient en fondant ensemble du soufre et de l'arsenic. On l'emploie en teinture et dans la fabrication des feux d'artifice comme addition au feu de Bengale blanc. Ce dernier se prépare avec 24 parties en poids de salpêtre, 2 parties de soufre, 7 parties de réalgar, qu'on fait sécher, réduire en poudre fine, puis on mélange et on allume.

11. CARBONE.

Carbo; C = 6.

52. Ce corps, d'une apparence si insignifiante, n'en mérite pas moins une attention particulière sous plusieurs rapports. Le carbone se présente d'abord sous des aspects très-remarquables et avec des propriétés également variables; il constitue ensuite, par ses rapports avec les règnes végétal et animal, tant en lui-même que dans ses combinaisons, un corps qui joue, conjointement avec l'oxygène, un rôle important dans l'économie de la nature.

Le carbone démontre mieux encore que le phosphore amorphe, ce principe que nous avons indiqué au § 11 de la *Physique*, savoir que toute la masse d'un corps quelconque se compose d'un nombre infini de toutes petites particules matérielles, d'*atomes*, qui sont reliés en vertu de leur cohésion, et que ce n'est pas seulement de la *nature* de ces atomes, mais encore de leur *arrangement* ou de leur situation respective que dépendent les propriétés des différents corps. Les formes diverses que prend le carbone nécessitent une description particulière de chacune d'entre elles. Nous ferons observer seulement que, bien que le carbone cristallisé, le charbon végétal, le charbon animal et le charbon minéral offrent des différences considérables, ils ont cependant cela de commun que dans toutes les circonstances le carbone est un corps solide, inodore et insipide, infusible et non volatil, qui ne se dissout dans aucune autre matière, à l'exception de la fonte de fer en fusion.

53. Le carbone *cristallisé* nommé *diamant* a excité l'attention des peuples les moins civilisés dès les temps les plus anciens par sa dureté, sa transparence, son éclat remarquable et sa propriété de diviser la

lumière en ses différentes couleurs, et ces qualités remarquables autant que sa rareté lui assignèrent le premier rang parmi les pierres précieuses. Le diamant est plus dense que tout autre charbon, car son poids spécifique est de 3,52, et en dureté il dépasse tous les autres corps, au point qu'aucun autre ne parvient à le rayer. Mais comme il est en même temps friable, on peut le réduire en poudre, de même que l'on peut casser la lime la plus dure.

On trouve le diamant dans le terrain qu'on nomme détritique et qui provient de la destruction d'anciennes roches dont les débris ont été transportés par les eaux dans les vallées et dans des plaines, par exemple, dans l'Inde orientale (Golconde), dans l'Inde occidentale (au Pérou, au Brésil) et dans ces derniers temps aussi dans l'Oural (Sibérie). La recherche de ces grains luisants est très pénible et se fait ordinairement par des esclaves. Chez nous elle ne payerait pas les frais du travail, et quand bien même le Rhin transporterait des diamants, on les lui laisserait tout aussi bien que son sable d'or.

Mais les pierres, dites crues, qu'on a trouvées dans les laveries de diamants n'acquiescent leur valeur particulière que quand elles sont taillées et polies. Comme aucun autre moyen n'attaque cette pierre, on est obligé de se servir pour la polir de diamants réduits en poudre.

On donne ainsi aux diamants des faces planes régulières qu'on nomme *facettes*, et on les désigne alors sous le nom de *brillants* quand ils sont petits, et sous celui de *solitaires* quand ils sont grands. On les monte à jour en argent, ou bien on les monte sur *feuille noire*.

Nous ne connaissons pas les conditions dans lesquelles le carbone cristallisé ou le diamant se forme, et il n'existe que bien peu de probabilité que nous soyons un jour en état de remplir ces conditions et de produire artificiellement du diamant.

Ce n'est qu'en 1694 que l'on acquit la preuve que deux corps aussi différents, au premier aspect, que le diamant et le charbon, étaient une matière identique. Cette découverte fut due au hasard, car, dans un essai fait en vue de fondre ensemble plusieurs petits diamants, on les vit disparaître complètement. Un examen plus attentif démontra qu'ils étaient *brûlés*, c'est-à-dire qu'ils s'étaient combinés avec de l'oxygène et avaient formé de cette manière de l'*acide carbonique* ($C O^2$), corps qu'on obtient avec des propriétés totalement identiques en brûlant du charbon ordinaire. Lorsqu'on chauffe le diamant dans un vase clos à l'abri de l'air, il reste parfaitement inaltéré.

Cependant ce corps ne fait pas exclusivement l'objet d'une vaine parure; mais il nous rend de grands services pour couper le verre, usage auquel sa grande dureté le rend particulièrement apte.

Aucune autre espèce de carbone n'est aussi pure de mélanges étrangers

que le diamant ; nous le considérons donc avec raison comme le carbone le plus pur et le plus parfait.

54. Le *charbon de bois* ou *végétal* trahit son origine par son nom. Toutes les matières végétales sans exception contiennent du carbone, que l'on peut en extraire de différentes manières. Comme, à côté du carbone, c'est l'oxygène et l'hydrogène qui forment les éléments principaux des matières organiques, nous pouvons d'une manière générale représenter leur composition par la formule $C^x H^y O^z$; il suffit donc de les chauffer,

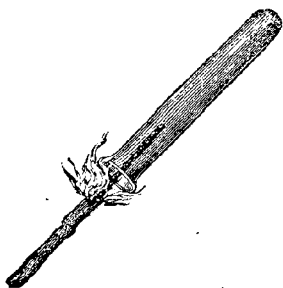


Fig. 23.

en empêchant l'accès de l'air, pour chasser les deux derniers éléments qui forment de l'eau et pour obtenir le charbon comme résidu. Si j'engage insensiblement un morceau de bois enflammé sous une éprouvette, comme le démontre la fig. 23, il brûlera à la surface avec flamme, tandis qu'à l'intérieur il se carbonisera.

C'est ainsi qu'on opère en grand pour obtenir le *charbon de bois* dans des meules avec du bois pesant, principalement le bois de hêtre (fig. 26). On tasse le bois, puis on le recouvre de terre et de gazon, et on allume à l'intérieur. Comme cette ouverture ne donne accès qu'à très peu d'air, la meule s'embrase insen-

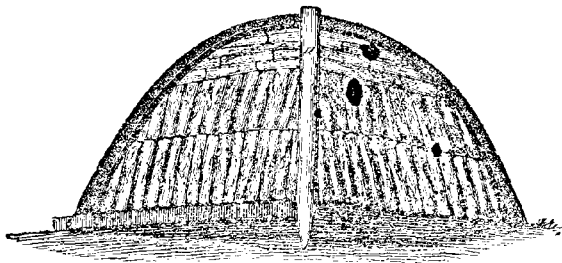


Fig. 26.

siblement, mais ce n'est d'abord que l'oxygène et l'hydrogène du bois qui s'en vont dans les produits de la combustion, tandis que le carbone reste en partie non brûlé. Cependant il y a toujours une grande partie de ce dernier qui est également consumé, et cela d'autant plus qu'on brûle plus parfaitement les autres matières. Pour éviter cette perte, aujourd'hui on ne pousse plus aussi loin la carbonisation et on obtient ainsi du charbon rougeâtre.

On peut admettre que 100 parties de bois sec contiennent :

20	pour cent	d'eau qui se trouve dans les pores.
40	»	d'oxygène et d'hydrogène.
40	»	de carbone.

Par conséquent il ne se trouve dans 100 kilogrammes de bois séché à l'air que 80 kilogrammes de bois, et dans celui-ci que 40 kilogrammes de charbon. Mais la carbonisation la plus soignée ne fournit que 25 kilogrammes, et la carbonisation ordinaire que 20 kilogrammes sur 100 kilogrammes de bois.

Le charbon de bois est extrêmement poreux et par conséquent d'une pesanteur spécifique très-petite. Celui de hêtre est = 0,187 et un pied cube (les intervalles compris) pèse 8 à 9 livres. Mais, considérée attentivement, la densité du charbon de bois est plus grande que celle de l'eau ; un morceau de charbon surnage bien sur l'eau parce que celle-ci ne peut pas pénétrer dans ses petits pores qui contiennent de l'air ; mais de la poudre fine de charbon coule à fond. Ce charbon possède à un haut degré la faculté d'attirer et de condenser dans ses pores la vapeur d'eau et l'air, ce qui occasionne quelquefois des échauffements et même des inflammations spontanées. 100 livres de charbon contiennent en moyenne 12 p. c. d'eau hygroscopique, 85 p. c. de carbone et 3 p. c. de cendres.

Lorsqu'on secoue de l'eau putréfiée qui contient de l'hydrogène sulfuré et de l'ammoniaque avec de la poudre de charbon récemment carbonisé, celle-ci absorbe complètement ces gaz fétides, et l'eau peut de cette manière être rendue potable.

Pour ce qui concerne la faculté absorbante du charbon, comparez le § 32 de la *Physique*. Le charbon de bois absorbe aussi des matières colorantes, mais à un degré moindre que ne le fait le charbon animal ; il est un très-mauvais conducteur du calorique ; à l'état ordinaire, le charbon ne conduit qu'imparfaitement l'électricité ; mais le charbon incandescent la conduit fort bien.

Le charbon de bois sert à beaucoup d'usages techniques ; le plus généralement on l'emploie pour de forts foyers dans un petit espace. Il présente encore un emploi important comme *moyen de désoxydation*, c'est-à-dire pour enlever aux oxydes leur oxygène, en se combinant avec lui pour former de l'acide carbonique. L'extraction de la plupart des métaux, et notamment du fer, se fait en mélangeant leurs oxydes avec le charbon et en les exposant à un feu ardent. Son emploi dans la fabrication de la poudre est très important.

Le charbon n'est que peu altérable à l'air à la température ordinaire et presque pas du tout dans l'eau et dans la terre. On tire parti de cette propriété en *carbonisant* l'extrémité des pieux qu'on veut enfoncer en terre

ainsi que l'intérieur des tonneaux dans lesquels on veut conserver de l'eau pour des transports maritimes.

Le *noir de fumée* et le *noir de lampe*, employés le premier comme couleur noire plus grossière, le second à des couleurs plus fines, ne sont encore que du charbon végétal à un état très-divisé. On obtient le noir de fumée en brûlant de la résine ou un bois très-résineux sans laisser l'accès de l'air tout à fait libre et en conduisant la fumée qui en résulte dans une chambre où le noir de fumée se dépose. Le *noir de Francfort* ou le *noir d'imprimerie* est un charbon obtenu par la carbonisation de la lie de vin, charbon qu'on divise en poudre très-fine et qu'on mélange de sels potassiques.

Tous ces charbons végétaux ne doivent pas être considérés comme du carbone pur, car en brûlant ils laissent de la cendre. Le noir de lampe seul, lorsqu'il est bien calciné, est du carbone à peu près chimiquement pur.

55. Nous nommons *charbon animal* la masse noire qui reste quand on carbonise des matières animales. Il diffère beaucoup du charbon végétal, tant sous le rapport de ses caractères extérieurs que sous celui de ses propriétés chimiques. Si nous faisons abstraction de la graisse des animaux, qui se comporte sous tous les rapports comme les matières grasses des plantes, nous entendons par matières animales principalement la chair musculaire, ensuite la peau (le cuir), les poils, la corne, les cartilages, la gélatine des os et le sang. Nous nous figurons ces matières à l'état sec et par conséquent anhydre; elles se composent alors dans leur substance principale d'environ :

35	parties en poids	de carbone.
22	»	» d'oxygène.
7	»	» d'hydrogène.
16	»	» d'azote.

100 parties en poids matière animale,

et contiennent en outre du soufre et des sels.

Lorsqu'on chauffe ces matières, elles se gonflent, se fondent, se collent ensemble, et fournissent enfin un charbon dense, souvent d'un éclat métallique et d'un aspect de scorie. Ce charbon n'est rien moins que du carbone pur, car, outre quelques phosphates et sulfates, il contient en particulier une quantité considérable *d'azote*, de façon qu'on pourrait avec raison l'appeler *charbon azoté*. Cette composition le rend particulièrement propre à la préparation d'un composé chimique qui forme la base du bleu de Prusse, et que nous apprendrons à connaître en détail sous le nom de *cyanogène*.

56. Le *noir d'ivoire* ou *charbon d'os* est un charbon animal qu'on

obtient en carbonisant des os, c'est-à-dire en les soumettant à une combustion incomplète. Nous devons nous représenter chaque os comme un mélange de deux substances entrelacées, dont l'une, organique, est molle et se nomme la gélatine de l'os, ou le *cartilage*, tandis que l'autre, inorganique, se compose d'un tissu dur de *phosphate de chaux* et n'est par conséquent pas combustible. En effet, si nous calcinons des os sans empêcher l'accès de l'air, le cartilage brûle complètement, et il ne reste que le tissu calcaire, solide et blanc: on obtient ainsi les *os calcinés* à blanc. Si, par contre, je trempe l'os dans l'acide chlorhydrique, celui-ci dissout le sel calcaire sans attaquer la matière cartilagineuse, qui reste inaltérée; quand on carbonise alors cette matière seule, ses parties de carbone s'agglutinent ensemble et on obtient un charbon azoté qui ne diffère pas de celui qui a été décrit au § 55. Mais lorsqu'on carbonise l'os directement, les particules calcaires qui se trouvent interposées dans le tissu cartilagineux empêchent l'agglutination des particules de charbon, et l'on obtient ainsi un charbon animal extrêmement divisé, mélangé de phosphate de chaux.

Le noir d'ivoire se distingue particulièrement par la propriété de se combiner avec des matières colorantes qui sont à l'état de dissolution, et de les enlever ainsi aux liquides. Que l'on secoue du vin rouge ou de l'encre rouge avec quelques cuillerées de charbon d'os, la liqueur mise sur le filtre passera claire comme de l'eau. On tire de cette propriété un très bon parti dans la fabrication du sucre, en ajoutant à la mélasse brune du charbon d'os, ce qui la rend parfaitement incolore, et nous livre le sucre d'une blancheur parfaite. Mais il y a encore beaucoup d'autres préparations chimiques qu'on décolore ou qu'on débarrasse des matières colorantes qui s'y trouvent mélangées au moyen du noir d'ivoire.

Le noir d'ivoire est fréquemment employé comme couleur noire, surtout pour la préparation du cirage de bottes, où on mélange ordinairement 2 parties de noir d'ivoire avec $\frac{1}{2}$ partie d'acide sulfurique en ajoutant 2 parties de mélasse et un peu d'eau.

57. Le *graphite*, nommé encore *mine de plomb*, est un minéral appartenant aux roches primitives, et qui se compose parfois de carbone pur; mais ordinairement il contient un peu de fer; il se forme aussi artificiellement dans les hauts fourneaux, dans la fusion du fer. Il a une couleur gris noir, un éclat métallique, et il déteint, de sorte qu'il marque sur le papier, ce qui a donné lieu à son emploi pour la fabrication de crayons. Un charbon minéral moins pur, l'*anthracite*, ressemble davantage à la houille, et laisse après sa combustion une cendre terreuse. Ces deux minéraux seront plus spécialement décrits dans la partie minéralogique.

Le *charbon de terre*, la *houille*, la *lignite* et la *tourbe*, qui renferment beaucoup de carbone, sont le produit de la décomposition spontanée des plantes. En parlant de celles-ci, il sera question de ces produits.

58. Combinaisons du carbone. Le carbone se combine avec l'oxygène dans des proportions différentes.

1. L'acide carbonique, CO_2 , est un gaz incolore, inodore, qui se trouve toujours mélangé à l'air atmosphérique dans la proportion de 2 litres d'acide carbonique sur 5000 litres d'air. Il se trouve en outre dans beaucoup de minéraux combiné avec des oxydes métalliques et surtout avec la chaux. Cette dernière combinaison constitue des chaînes entières de montagnes.

Cet acide se forme constamment dans la combustion et dans la putréfaction des corps qui contiennent du carbone, dans la fermentation et dans la respiration des animaux. La quantité de cet acide contenue dans l'air devrait de cette manière aller constamment en augmentant, mais les plantes en absorbent des quantités considérables pendant la végétation, de sorte qu'il s'établit un équilibre remarquable. Nous aurons encore l'occasion de revenir avec plus de détails sur cette relation importante du carbone avec les règnes végétal et animal.

Pour préparer l'acide carbonique, le moyen le plus commode est de prendre du carbonate de chaux $CaO \cdot CO_2$, la craie, par exemple, et de le traiter par un acide énergique, ordinairement par l'acide chlorhydrique. L'acide carbonique devient libre et se dégage en bulles gazeuses, d'où résulte une violente *effervescence*. Cette dernière constitue un signe caractéristique des combinaisons d'acide carbonique, lorsqu'on les humecte avec un acide fort.

Lorsqu'on plonge dans un vase rempli d'acide carbonique une chandelle allumée, celle-ci s'éteint instantanément. De même, des hommes ou des animaux qui respirent de l'acide carbonique pur, meurent subitement asphyxiés. Sa densité est de 1,5 : elle est donc d'une moitié plus grande que celle de l'air. Un litre de gaz acide carbonique pèse 1,967 grammes ; il va donc à fond dans l'air, tout comme du sirop de sucre versé dans un verre d'eau coule d'abord au fond : le mélange ne se fait qu'insensiblement. Lorsqu'on tient une bougie allumée dans le fond d'une éprouvette (fig. 27), et qu'on y verse lentement du gaz acide carbonique d'un autre vase, la bougie s'éteint aussitôt que le gaz atteint la hauteur de la flamme. Dans les caves où il y a de grandes quantités de jeune vin ou de bières en fermentation, la couche inférieure de l'air est de l'acide

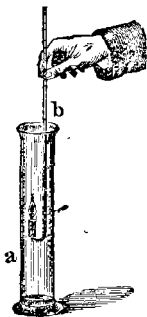


Fig. 27.

carbonique pur, et il n'est pas rare que des personnes qui, pour une occupation ou l'autre, se baissent et respirent ce gaz, soient asphyxiées. On prévient cela en entretenant un courant d'air suffisant, ou bien en

répandant sur le sol de la chaux éteinte mélangée avec de l'eau, ce lait de chaux absorbant extraordinairement vite l'acide carbonique. En cas d'asphyxie par l'acide carbonique, le meilleur moyen curatif est de faire respirer ou flairer de l'ammoniaque.

Dans les couches profondes de la terre, il y a en certains endroits une décomposition continuelle de corps carbonés, et il en sort des courants de gaz acide carbonique semblables aux courants des sources d'eau. C'est pourquoi ce gaz s'accumule quelquefois dans la profondeur des puits, dans les mines, et y occasionne encore des accidents. Près de Naples se trouve une grotte, nommée la *grotte du Chien*, où l'acide carbonique sortant de terre forme une couche de plusieurs pieds de hauteur. Tandis que des hommes peuvent y marcher debout sans aucun danger, les chiens y meurent aussitôt après leur entrée.

L'acide carbonique se dissout dans l'eau et lui communique une saveur agréablement rafraîchissante et légèrement acide. Toute l'eau qu'on rencontre à l'air libre contient un peu d'acide carbonique en dissolution. Mais lorsque à l'intérieur de la terre des sources d'eau rencontrent des sources d'acide carbonique, l'eau en absorbe de grandes quantités et se nomme alors *eau gazeuse*, comme, par exemple, l'eau de Seltz et beaucoup d'autres. Il se trouve encore de l'acide carbonique dans beaucoup de



Fig. 28.

liquides qui sont le produit d'une fermentation, comme dans le vin jeune, la bière, le champagne mousseux. A une température de 15° C. l'eau dissout un volume égal au sien d'acide carbonique; mais, sous une pression plus forte, elle peut en absorber des quantités relativement plus considérables. C'est sur cette propriété qu'est fondée la disposition d'appareils divers pour produire des eaux gazeuses artificielles (fig. 28). Un appareil de ce genre très-répandu est le *gazogène de Liebig* (fig. 29) dont on peut voir la disposition intérieure (fig. 29). Il a deux compartiments; dans le compartiment supérieur C, qui contient un litre, on verse le liquide qu'on veut saturer d'acide

carbonique; on place alors la cruche horizontalement et on ouvre le compartiment inférieur, dans lequel on met 14 grammes d'acide tartrique et 16 grammes de bicarbonate de soude, ainsi qu'un peu d'eau. Lorsqu'on

a refermé rapidement l'ouverture et replacé la cruche debout, l'acide carbonique qui se développe pénètre par les fines ouvertures, *a*, de la cloison *A*, dans le compartiment supérieur.



Fig. 29.

Mais le gaz qui se forme occuperait un espace quadruple de ce dernier et la pression qui en résulte chasse le liquide par le tuyau aussitôt qu'au moyen d'une pression sur le bouton supérieur, on a ouvert la soupape qui s'y trouve. Quand on remplit le vase, il faut toujours laisser, comme le montre la fig. 29, un peu d'air au-dessus du liquide, parce que sans cela la cruche pourrait se briser.

Lorsqu'on comprime fortement dans des appareils appropriés du gaz acide carbonique, il se transforme en un liquide qui, aussitôt la pression enlevée, s'évapore avec une rapidité extraordinaire et absorbe par là une telle quantité de calorique (*Physique*, § 453), qu'il en résulte un froid de 100° à 113° C., par lequel une partie de l'acide liquéfié se congèle.

L'acide carbonique offre donc un exemple remarquable du principe que nous avons posé dans la physique, savoir que l'état des corps dépend essentiellement de la température.

2. *L'oxyde de carbone, C O.* On appelle ainsi un degré d'oxydation inférieur du charbon ; il se produit lorsque celui-ci brûle sans accès suffisant d'air. Ce gaz brûle avec une jolie flamme bleue que l'on remarque souvent à la flamme d'une bougie et dans des foyers, et se transforme, en brûlant, en acide carbonique. Ce gaz est vénéneux : lorsque l'air n'en contient que quelques centièmes, un animal y meurt en peu de temps ; à l'homme il donne des maux de tête, le vertige ; c'est ce gaz principalement qui occasionne les cas d'asphyxie, qui arrivent lorsqu'on brûle des charbons dans des chambres fermées.

59. Combinaisons du carbone avec l'hydrogène. Le carbone forme avec l'hydrogène une longue série de combinaisons solides, liquides et gazeuses. Les premières, appartenant à la chimie organique, seront décrites plus tard. Les combinaisons gazeuses sont :

1. L'hydrogène protocarboné..... $C^2 H^4$.
2. L'hydrogène bicarboné..... $C^4 H^4$.

Ces deux gaz ne se préparent pas par la combinaison directe du carbone et de l'hydrogène, mais par la décomposition de combinaisons orga-

niques, surtout des matières végétales, qui sont composées, ainsi que nous l'avons déjà dit au § 54, d'après la formule générale $C^x H^y O^z$.

L'hydrogène protocarboné $C^2 H^4$ se produit lorsque des débris végétaux se décomposent dans des eaux stagnantes, dans des marais : on le nomme encore, pour cette raison, *gaz des marais*. Dans certains endroits il s'échappe en si grande abondance du sol, que ces sources gazeuses une fois enflammées continuent toujours à brûler, comme cela a lieu pour le remarquable *feu sacré de Baku*, en Asie.

L'hydrogène protocarboné est incolore, inodore et brûle avec une flamme pâle et peu lumineuse. Sa densité est de 0,559. Lorsque ce gaz est mélangé avec de l'air, le mélange devient explosif quand on approche une allumette. Dans certaines houillères, il se forme des quantités considérables de ce gaz, qu'on nomme *grisou*. En se mélangeant dans les fosses avec de l'air, il donne lieu à des explosions terribles, lorsque, par malheur, la lampe des ouvriers vient enflammer ce mélange. Une grande quantité de pauvres mineurs ont déjà perdu la vie à cause de ce gaz. Ces

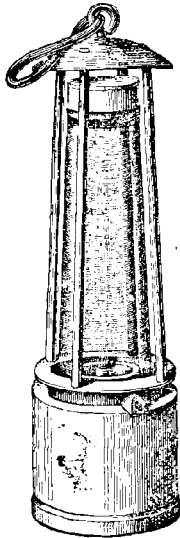


Fig. 30.

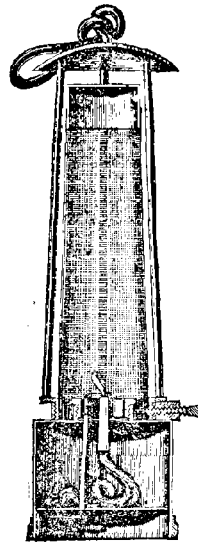


Fig. 31.

accidents ont amené l'invention de la *lampe de sûreté* (fig. 30 et 31). Elle consiste en une lampe à huile ordinaire, entourée d'une toile métallique. Lorsqu'on amène une lampe pareille dans le mélange explosif, celui-ci

pénètre dans la lampe à travers le treillis et s'y enflamme. Mais la flamme se refroidit tellement par le tissu métallique, qu'elle s'éteint sans se propager au dehors. Il est facile de se convaincre de cette faculté de refroidissement de la toile métallique, en en plaçant un morceau transversalement au-dessus d'une flamme. Celle-ci ne traverse pas le réseau, bien que celui-ci permette l'entrée des gaz et des vapeurs inflammables, ainsi que le montre la fig. 52.

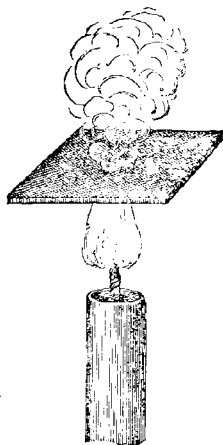


Fig. 52.

Le gaz hydrogène carboné constitue une grande partie du mélange gazeux employé pour l'éclairage au gaz.

L'*hydrogène bicarboné*, $C^4 H^4$, s'obtient par la décomposition de l'alcool ($= C^4 H^6 O^2$), lorsqu'on mélange celui-ci avec 6 parties d'acide sulfurique; il se produit en outre, lorsqu'on décompose des matières organiques par la chaleur. Il est incolore et brûle avec une flamme très-vive. On le nomme encore *hydrogène carboné pesant*, parce que sa densité est de 0,978; il se nomme aussi *gaz oléifiant*, parce qu'il se combine avec le chlore en donnant une combinaison d'aspect oléagineux. A la chaleur rouge il se décompose en charbon, hydrogène protocarboné et hydrogène.

60. Fabrication du gaz d'éclairage. Le gaz qui sert à l'éclairage est principalement un composé des deux hydrogènes carbonés que nous venons de décrire. Ces gaz se produisent toujours, lorsqu'on chauffe jusqu'à un certain degré des substances organiques. En allumant une bougie, nous mettons en action une petite fabrique de gaz, mais ici les gaz produits sont brûlés sur place et au moment de leur production, tandis que dans des fabriques de gaz on les recueille et on les conserve dans des réservoirs particuliers qu'on nomme *gazomètres*.

Il résulte de ce que nous venons de dire que toutes les matières organiques peuvent être employées à la production du gaz à éclairer; en réalité, on ne se sert maintenant en grand que de la houille et du bois. Ce n'est que dans des circonstances particulières, par exemple, là où on dispose de déchets inutiles, que la préparation du gaz au moyen de résines et de graisses peut offrir quelque avantage.

61. Le gaz de houille, introduit en Angleterre depuis 1798, s'obtient par la distillation de la houille. Celle-ci se compose principalement de 70 à 80 p. c. de carbone, 5 à 8 p. c. d'oxygène et 5 p. c. d'hydrogène. Mais elle contient toujours de petites quantités d'azote et de bisulfure de

fer $Fe S^2$ qui prennent également part à la décomposition en formant de l'ammoniaque NH^3 et de l'acide sulfhydrique $S H$.

La fabrication du gaz de houille se divise en trois parties, savoir la *production*, la *purification*; la *réception et distribution*.

La production se fait dans des cornues ou cylindres en grès de forme elliptique, dont la fig. 33 montre la coupe transversale. Il s'en trouve

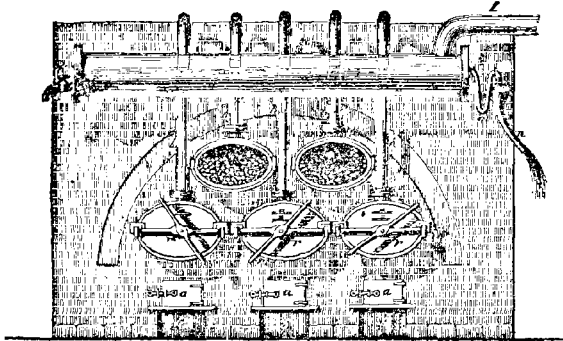


Fig. 33.

ordinairement cinq dans un fourneau. On les remplit de *houille sèche* et on les soumet à une chaleur rouge modérée. Le gaz alors se dégage, mais il est mélangé à des vapeurs de goudron, d'acide sulfhydrique, d'ammoniaque et d'acide carbonique, qui nuiraient à son emploi. C'est pourquoi on le fait d'abord passer par le cylindre horizontal *ii*, où le goudron se dépose et d'où on le soufre de temps en temps par le robinet *k* pour l'employer à divers usages. Dans ce cylindre il vient aussi se condenser de l'eau contenant de l'ammoniaque. Le gaz passe ensuite dans plusieurs réservoirs, dans lesquels on a répandu sur la mousse de la chaux humide qui enlève au gaz son acide sulfhydrique et l'acide carbonique. Enfin, pour le priver du gaz ammoniaque qui le souille encore, on le fait passer à travers de l'acide sulfurique. Dès lors le gaz est propre à être employé et on le recueille dans le *gazomètre* (fig. 34), qui est un réservoir formé de plaques de tôle hermétiquement jointes et complètement entouré d'eau. Il est pourvu d'un contre-poids *p*, de façon à pouvoir se soulever très-facilement. Le gaz y entre par le tuyau *l*, et soulève insensiblement le gazomètre jusqu'à ce qu'il soit totalement rempli : alors on ferme le robinet du tuyau d'entrée. Lorsqu'on veut faire pénétrer le gaz dans les tuyaux qui le mènent aux différents points où l'on en fait usage, on ouvre le robinet du tuyau de

distribution *t* (fig. 34), on charge le gazomètre d'un poids, qui le fait descendre insensiblement : à mesure que le gaz s'échappe, il plonge davantage dans l'eau. Ces gazomètres ont quelquefois le volume d'une grande maison.

62. Le gaz de houille est un mélange des deux hydrogènes carbonés avec de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène en proportions qui varient

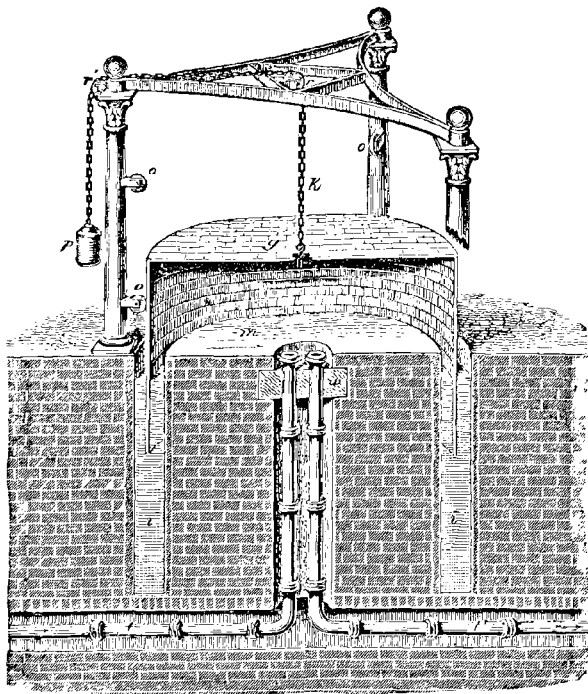


Fig. 34.

beaucoup, selon la qualité du charbon et le procédé de fabrication. Au commencement de la distillation, l'hydrogène bicarboné, qui constitue naturellement la partie la plus précieuse, forme environ un cinquième, mais vers la fin du travail, ou lorsque la chaleur rouge est trop forte et qu'elle le décompose, sa quantité diminue considérablement, tandis que celle de l'hydrogène augmente.

Dans les cornues à gaz il reste comme résidu un charbon poreux, gris noir, qu'on nomme *coke* et qui est employé comme combustible.

Le gaz à éclairer est incolore, d'une odeur particulière qui provient des

vapeurs d'huiles volatiles qui y sont mélangées et qui augmentent sa puissance d'éclairage. Il ne doit ni troubler l'eau de chaux, ni noircir des solutions de plomb, ni bleuir la teinture de tournesol rougie, car alors il serait souillé d'acide carbonique, d'acide sulfhydrique ou d'ammoniaque. Sa puissance d'éclairage se détermine au moyen du photomètre, et on exige ordinairement que la puissance d'éclairage d'une flamme de gaz égale celle de 10 à 12 bougies. En supposant que le gaz d'éclairage ne contienne pas d'acide carbonique, il sera d'autant meilleur que son poids spécifique sera plus grand, c'est-à-dire qu'il contiendra davantage d'hydrogène bicarboné. En moyenne sa densité est ordinairement la moitié de celle de l'air; c'est pourquoi on se sert aujourd'hui presque exclusivement de ce gaz pour remplir les aérostats, de préférence à l'hydrogène, qui est, à la vérité beaucoup plus léger, mais aussi considérablement plus cher.

Les gaz qui se dégagent à la fin de la distillation possèdent peu de puissance d'éclairage, mais par contre une grande puissance de chauffage; aussi est-il avantageux de les recueillir à part et de s'en servir pour le chauffage.

63. Le *gaz de bois*, introduit d'abord à Munich en 1851 et dans beaucoup de villes d'Allemagne, s'obtient du bois en le soumettant à une certaine chaleur; mais ici il est essentiel de transformer autant que possible en gaz le goudron qui se forme. On arrive à ce résultat, en opérant la distillation dans des cylindres d'une capacité triple de la charge de bois qu'on y met. Le gaz de bois offre l'avantage de ne pas devoir être débarrassé d'acide sulfhydrique et d'ammoniaque; mais par contre il est difficile de lui enlever suffisamment l'acide carbonique qu'il contient. Comme produits accessoires de cette fabrication, on obtient du goudron, du vinaigre de bois et du charbon de bois.

Une flamme ordinaire de gaz consomme par heure 4 à 5 pieds cubes de gaz. 1000 pieds cubes de gaz de houille coûtent à Berlin 5 florins, à Mayence 5 florins; 1000 pieds cubes de gaz de bois coûtent à Munich et à Darmstadt 6 florins. 1 livre de houille donne 4 $\frac{1}{2}$ à 5 pieds cubes de gaz; 1 livre de bois 4 $\frac{1}{2}$ pieds cubes, 1 livre d'huile 22 à 25 pieds cubes, 1 livre de résine 15 pieds cubes.

64. La flamme. Les corps gazeux en brûlant produisent la flamme; les corps solides et liquides brûlent aussi avec flamme, après que la chaleur, nécessaire pour les enflammer, les a d'abord décomposés en vapeur ou en corps gazeux. C'est pourquoi nous voyons brûler avec flamme la plupart des corps, tels que l'hydrogène, le gaz d'éclairage, l'alcool, les huiles, le soufre, le phosphore, le bois et même des métaux, comme le potassium et le zinc. On ne voit, au contraire, pas de flamme dans la combustion du charbon et du fer.

Il n'y a que les corps solides qui rayonnent fortement la lumière, quand

on les a rendus incandescents ; c'est pourquoi les flammes dans lesquelles il ne se trouve pas de corps solides brûlent avec une faible lumière : tel est le cas pour l'hydrogène, l'hydrogène proto-carboné et l'alcool. L'hydrogène bicarboné au contraire éclaire fortement, parce que pendant sa combustion il se décompose en hydrogène proto-carboné et en charbon, et que ce dernier, suspendu en particules très ténues dans la flamme, devient d'un blanc ardent et produit une vive lumière. Quand on brûle du phosphore, il se produit de l'acide phosphorique blanc et solide qui, par son incandescence, répand une lumière éblouissante ; il en est de même quand on brûle de l'arsenic et du zinc. La faible flamme de l'hydrogène et du gaz détonant émet une lumière brillante dès qu'on y introduit une spirale de fil de platine ou un morceau de craie.

Quand nous considérons une flamme de bougie ordinaire (fig. 35), nous y reconnaissons distinctement trois parties différentes. La partie moyenne interne *a a'* paraît obscure, peu lumineuse : elle est formée par les gaz et les vapeurs résultant de la décomposition de la matière combustible. La couche suivante, *f e g*, luit fortement, car ici la combustion de ces gaz commence et met à nu du carbone à l'état incandescent ; le bord, ou manteau extérieur *b c d* éclaire peu, car c'est ici que la communication directe avec l'oxygène de l'air donne lieu à la combustion totale : aussi cette partie est-elle la partie la plus chaude de la flamme. On peut s'assurer de ce que nous venons de dire en plaçant à travers la flamme un treillis métallique (fig. 32) ; on voit alors en dessous de celui-ci la flamme ayant la forme d'un calice de fleur ; au milieu, la mèche entourée de la couche



Fig. 35.

obscur de vapeurs et de l'anneau brillant. Il se forme alors sur la toile métallique une tache noire correspondant à cet anneau et provenant du charbon mis à nu (suie), qui est entourée d'un anneau incandescent.

Lorsque l'air n'a pas un accès suffisant, le carbone de la flamme ne brûle pas en entier, mais une partie se sépare sous forme de suie. C'est pour cette raison que les lampes dites d'Argand avec leur flamme cylindrique creuse, donnent la lumière la plus forte, parce que l'air peut y arriver tant du dehors qu'en dedans. Le gaz d'éclairage brûle également avec une flamme qui forme suie ; c'est pourquoi on s'applique à élargir la flamme en lui donnant la forme d'une aile de chauve-souris. Lorsqu'on veut employer le gaz pour la cuisson, on y fait arriver de l'air par des appareils particuliers, afin que celui-ci se mélange avec lui avant de brûler. Les modifications *essentielles* que la flamme peut subir par l'insufflation d'air seront démontrées dans la partie minéralogique, lors de la description de la *lampe d'émailleur*.

AZOTURE DE CARBONE OU CYANOGENÈ C² Az = Cy.

65. Le carbone ne se combine avec l'azote que dans des circonstances particulières, surtout lorsqu'on chauffe du charbon contenant de l'azote (§ 55) avec un métal. Les deux corps se combinent en formant le *cyanogène* C² Az, qui se combine lui-même avec le métal.

On prépare le cyanogène en chauffant du *cyanure de mercure* Hg Cy. C'est un gaz incolore, d'une odeur piquante, qui, lorsqu'il est enflammé, brûle avec une belle flamme d'un rouge pourpré. Ce corps possède, relativement à ses modes de combinaison, une telle ressemblance avec le chlore, le brome et l'iode, qu'on peut sous ce rapport le ranger à côté de ces corps. C'est pourquoi on le désigne par le simple signe Cy, au lieu du signe C² Az, qu'il faudrait lui donner d'après sa composition. Le nom de cyanogène signifie producteur de bleu, parce qu'il forme avec le fer une combinaison d'un beau bleu qu'on nomme le *bleu de Prusse*.

Le cyanogène forme avec l'hydrogène l'*acide cyanhydrique* Cy H, nommé aussi *acide prussique*, qu'on obtient en distillant du cyanure de mercure avec de l'acide chlorhydrique $HgCy + ClH = CyH + ClHg$. Cet acide est un gaz incolore, d'une odeur particulière, très forte, rappelant les amandes amères; il est soluble dans l'eau, à laquelle il communique ses propriétés. L'acide cyanhydrique, surtout à l'état anhydre, est un des poisons les plus terribles. Mais, étendu d'eau, il est employé comme médicament; les noyaux des fruits, les amandes amères, ainsi que les feuilles du laurier-cerise, qui contiennent de petites quantités d'acide prussique, sont également employés non-seulement en médecine, mais encore dans la pâtisserie et pour la préparation du kirsch-wasser.

SULFURE DE CARBONE, CS².

Densité 1,294; point d'ébullition 48° C.

66. On prend un tube en fer ou en porcelaine, on y chauffe au rouge des morceaux de braise, puis on y place, par une des ouvertures, du soufre qui ne tarde pas à se réduire en vapeurs. Celles-ci passent au-dessus des braises et se combinent avec le carbone, en formant un corps volatil qui, condensé dans un vase réfrigérant, forme un liquide clair comme de l'eau. Ce liquide, nommé *sulfure de carbone*, offre un des exemples les plus frappants de la propriété que possèdent les combinaisons chimiques de perdre les caractères particuliers des éléments constituants. Le soufre jaune et solide, en se combinant au charbon noir et solide, forme un produit *liquide*, limpide comme de l'eau, qui est extrêmement volatil, possède une odeur forte, désagréable, et réfracte très-

fortement la lumière, de telle sorte qu'à travers les vases qui le contiennent on voit les plus belles couleurs. Lorsqu'on met quelques gouttes d'eau dans un verre de montre, qu'on y verse un peu de sulfure de carbone, et qu'on souffle dessus pour provoquer une prompte évaporation, l'eau se congèle en peu de secondes. Le sulfure de carbone dissout avec facilité le soufre, le caoutchouc, les résines, les huiles et les graisses. On l'emploie pour vulcaniser le caoutchouc et pour enlever des taches de graisse.

12. SILICIUM.

Si = 21,3.

67. Le silicium ne se présente jamais à l'état pur, mais sa combinaison avec l'oxygène, l'*acide silicique* $Si O^2$, forme une partie principale de la plupart des minéraux, et nous pouvons bien admettre qu'à côté de l'oxygène, le silicium constitue la masse principale de la partie solide de la terre.

Le silicium, débarrassé de son oxygène, s'obtient, soit sous forme de cristaux feuilletés, luisants, d'un gris noirâtre, soit sous forme de poudre d'un gris brunâtre, qui n'est pas volatile, et qui, chauffée dans l'oxygène, se combine de nouveau avec celui-ci pour former de l'acide silicique.

Combinaisons du silicium. L'*acide silicique* se rencontre sous plusieurs états et à des degrés différents de pureté.

Le *cristal de roche*, que l'on trouve principalement dans les grottes du Saint-Gothard, est de l'acide silicique cristallisé et parfaitement pur. Le *quartz blanc* et les *silex du Rhin* contiennent très peu de mélanges étrangers, ce qui a lieu plus ou moins pour la pierre à fusil, l'agate, le jaspé, le sable, les grès et d'autres espèces, que nous apprendrons à connaître dans la minéralogie. Tous ces minéraux se distinguent par la dureté caractéristique de l'acide silicique, car elles donnent au briquet de vives étincelles. L'acide silicique seul ne fond qu'au feu le plus violent; avec les oxydes métalliques, il forme, à la chaleur rouge, une série de combinaisons importantes au point de vue industriel, telles que le verre, la porcelaine et la poterie.

Lorsqu'on chauffe de l'acide silicique avec un excès d'alcalis caustiques, par exemple, de la potasse ou de la soude caustiques, il forme avec ces corps des combinaisons qui sont solubles dans l'eau. Si on ajoute à une semblable solution un acide plus fort, l'acide silicique se dépose sous forme d'une gelée, qui forme à l'état sec une poudre blanche, légère. Cet acide silicique ainsi déposé est *soluble* dans l'eau pure, mais il perd cette propriété lorsqu'il a été calciné.

C'est dans cet état de solution que l'acide silicique est contenu dans la plupart des sources, et qu'il est absorbé par les plantes auxquelles il paraît être un aliment tout aussi nécessaire que l'est le sel de cuisine aux hommes. Certaines d'entre elles, telles que les graminées surtout, contiennent beaucoup d'acide silicique, qui se retrouve après leur combustion dans la cendre. La propriété de couper que possèdent certaines graminées (*carex*) dépend de petits cristaux d'acide silicique déposés dans les cellules des feuilles. Les coquilles de certains mollusques et polypes se composent également d'acide silicique.

L'acide silicique n'a pas de saveur acide et possède peu d'affinité: il a pour cette raison été désigné sous le nom de *silice*.

La silice, quelle que soit la forme sous laquelle elle se présente, est dissoute par l'acide fluorhydrique.

Avec l'*hydrogène*, le silicium forme une combinaison gazeuse qui s'enflamme spontanément à l'air.

13. BORE.

Boron; signe : B = 11.

68. Le bore est un corps assez rare; il se trouve principalement dans quelques lacs volcaniques en combinaison avec l'oxygène à l'état d'*acide borique*, BO^3 . C'est de celui-ci qu'on a extrait le bore tantôt sous forme de cristaux durs ressemblant au diamant, tantôt sous forme de paillettes semblables à celles du graphite, tantôt sous forme de poudre de couleur chocolat. Il en résulte que le carbone, le silicium et le bore offrent dans leurs caractères extérieurs une analogie frappante.

L'acide borique se dépose de l'eau de ces contrées volcaniques à l'état de poudre blanche, et forme, lorsqu'il est pur, des paillettes incolores qui sont solubles dans l'alcool et communiquent à celui-ci, lorsqu'on l'enflamme, une belle couleur *verte* dont on fait usage dans les feux d'artifice. Bien que n'étant que faiblement acide, l'acide borique fondu avec des sels élimine de ceux-ci tous les autres acides, parce qu'il est extrêmement fixe. Il forme avec les oxydes métalliques des combinaisons vitreuses.

II. MÉTAUX.

69. A l'exception du mercure, les métaux sont des corps solides, qui cependant se liquéfient, se fondent à une température plus ou moins élevée et qui, à une température encore plus élevée, se transforment en vapeurs. Ils sont les meilleurs conducteurs de l'électricité et de la chaleur, et leur surface polie réfléchit la lumière avec un vif éclat, nommé *éclat métallique*. La plupart des métaux ont une densité considérable; leurs molécules possèdent une forte cohésion : c'est pourquoi ils sont extensibles, malléables et ductiles.

La plupart des métaux ont une grande affinité pour l'*oxygène*, et c'est ordinairement unis à ce corps qu'on les rencontre dans la nature. Les *oxydes métalliques*, à l'opposé des oxydes des métalloïdes, sont généralement des combinaisons à caractère basique; car il n'y a que peu d'oxydes métalliques plus élevés qui possèdent les caractères d'*acides*, et qu'on nomme par conséquent *acides métalliques*. Mais ceux-ci ont toujours une affinité plus faible que les acides sulfurique, azotique, phosphorique et chlorhydrique. La plus grande partie des oxydes métalliques sont insolubles dans l'eau.

L'affinité des métaux pour l'oxygène se manifeste principalement dans leur action sur l'eau; car quelques-uns d'entre eux lui enlèvent l'oxygène déjà à la température ordinaire, d'autres à la température d'ébullition, d'autres à la chaleur rouge seulement, tandis que le dernier groupe n'enlève dans aucune circonstance l'oxygène de l'eau. Les différents degrés d'oxydation des métaux ont déjà été indiqués au § 27. De la combinaison des oxydes métalliques ou bases avec les acides résulte cette classe extrêmement importante de combinaisons chimiques qu'on nomme des *sels*. Leur composition peut s'exprimer par la formule générale $MO.RO^n$, où M représente un métal quelconque, R le radical de l'acide, n le nombre d'équivalents d'oxygène.

On distingue : les *sels neutres*, qui, pour chaque équivalent d'oxygène dans la base, contiennent également un équivalent d'acide, les *sels acides*, qui contiennent plus d'acide, et les *sels basiques*, qui en contiennent moins que la proportion indiquée. Les formules suivantes le démontrent :

$KO. SO_2$ = sulfate neutre de potasse.

$KO.2 SO_2$ = sulfate acide ou bisulfate de potasse.

$HgO. NO_2$ = azotate neutre de mercure.

$2HgO. NO_2$ = azotate basique de mercure.

$3HgO. NO_2$ = azotate tribasique de mercure.

L'action des sels sur les couleurs végétales n'est pas prise en considération dans cette circonstance, car le carbonate de potasse $KO.CO^2$ se comporte à la manière des alcalis, et le sulfate d'alumine, $Al^2O^3.3SO^2$, à la manière des acides, bien que, d'après ce que nous avons dit, ils doivent être considérés tous les deux comme des sels neutres. Les sels doubles résultent de la combinaison d'un sel avec un autre sel. Mais les deux sels ont un acide commun, ainsi que le démontre la formule de l'*alun*, l'un des sels doubles les plus connus et qui se compose de sulfate d'alumine et de sulfate de potasse :



Comme chaque acide peut former un sel avec chaque base, il y a un nombre infini de sels dont les propriétés tiennent tantôt de l'acide, tantôt de la base. C'est ainsi, par exemple, que d'une manière générale les sels de l'acide chlorique et de l'acide chlorique agissent comme oxydants, souvent même avec explosion. Les sels de sodium ont un goût salé; ceux de potassium, un goût salé et amer; ceux du magnésium, un goût amer; ceux de l'aluminium, un goût douceâtre.

Les *hydracides* décomposent les oxydes métalliques; par exemple : l'acide chlorhydrique et l'oxyde de potassium se décomposent en formant de l'eau et du chlorure de potassium : $ClH + KO = HO + KCl$.

Les métaux se combinent très-vivement au *chlore* et forment le plus souvent des combinaisons neutres qu'on nomme *chlorures* et qui possèdent des propriétés analogues à celles des sels. Ils sont ordinairement solubles dans l'eau et se rencontrent relativement peu dans la nature. L'*iode*, le *brome*, le *fluor* et le *cyanoogène* agissent sur les métaux à peu près de la même manière que le chlore, et, à cause de leur propriété de former avec eux des combinaisons semblables aux sels, on a nommé ces corps *halogènes* et leurs sels des sels *haloïdes*, pour les distinguer des sels oxygénés ou des sels d'oxydes. Quelques exemples feront comprendre la manière de désigner ces combinaisons :

$Hg^2 Cl$ = sous-chlorure de mercure ou chlorure de mercure.

$Hg Cl$ = chlorure de mercure ou chloride de mercure.

$Fe Cl$ = protochlorure de fer ou chlorure de fer.

$Fe^2 Cl^3$ = sesquichlorure de fer ou chloride de fer.

On emploie généralement les dernières expressions parce qu'elles sont plus brèves.

Le *soufre* est, après l'oxygène, le corps, avec lequel les métaux se trouvent le plus fréquemment combinés. Ses combinaisons naturelles avec les métaux pesants ont un aspect métallique, ordinairement d'un jaune de

laiton, tandis que celles qui sont préparées artificiellement forment des poudres de colorations particulières. (V. § 43.) Les combinaisons du soufre avec les métaux se nomment *sulfures*; il en est qui possèdent des caractères *basiques* très prononcés. Quelques-uns d'entre eux contenant plus d'équivalents de soufre que les précédents agissent comme des acides et se combinent avec d'autres sulfures en formant des sels sulfurés particuliers. Les sulfures métalliques possèdent une grande affinité pour l'oxygène, quelques-uns l'absorbent déjà dans l'air ou dans l'eau et se transforment en sulfates métalliques, tandis que d'autres ne le font qu'à une certaine température. Lorsqu'on traite un sulfure par un acide, il en résulte de l'acide sulfhydrique et un sel métallique.

Les combinaisons ou mélanges de différents métaux entre eux, qu'on obtient en les fondant ensemble, se nomment des *alliages*; ils ont assez souvent les caractères intermédiaires des métaux qui les constituent. Le mercure dissout les métaux, à l'exception du fer, et forme avec eux ce que l'on nomme des *amalgams*.

70. Division des métaux. Elle sera le mieux comprise à l'aide du tableau suivant, où les métaux sont rangés d'après des caractères particuliers en plusieurs groupes ayant des noms particuliers :

MÉTAUX.	CARACTÈRES DE LEURS	
	Oxydes.	Sulfures.
<p>A. Légers. Densité en dessous de 5. Ne se rencontrent jamais dans la nature à l'état de liberté; leurs sels sont, à peu d'exceptions près, incolores, non vénéreux et forment des éléments essentiels de la nourriture des plantes et des animaux, ne s'emploient que rarement à l'état métallique.</p>	<p>Fortes bases; ont une grande affinité pour l'eau, avec laquelle ils forment des hydrates; n'abandonnent leur oxygène au charbon qu'à la chaleur blanche.</p>	<p>Fortes bases; s'oxydent à l'air pour former des sulfates d'oxydes; traités par un acide, ils dégagent de l'acide sulfhydrique.</p>
<p>a) Métaux alcalins. Décomposent l'eau à la température ordinaire. 1. Potassium, 2. Sodium.</p>	<p>Très-caustiques; les plus fortes bases, car elles chassent tous les autres oxydes de leurs combinaisons avec les acides; très-solubles dans l'eau; ne perdent pas leur eau d'hydratation même à la plus forte température; attirent fortement l'acide carbonique de l'air.</p>	<p>Caustiques; fortes bases; très-solubles dans l'eau, dissolvent beaucoup de soufre; traités alors par un acide ils l'abandonnent sous forme d'une poudre blanche, nommée <i>lait de soufre</i>; se nomment aussi <i>foie de soufre</i>.</p>

MÉTAUX.	CARACTÈRES DE LEURS	
	Oxydes.	Sulfures.
<p>b) Métaux alcalino-terreux.</p> <p>Décomposent l'eau comme 1 et 2.</p> <p>3. Calcium. 4. Barium. 5. Strontium. 6. Magnesium.</p>	<p>Caustiques; fortes bases; solubles dans l'eau; perdent leur eau d'hydratation à une légère chaleur; attirent fortement l'acide carbonique. L'oxyde de magnésium est faiblement caustique.</p>	<p>Caustiques; fortes bases; dissolvent le soufre; en partie solubles, en partie insolubles dans l'eau.</p>
<p>c) Métaux terreux.</p> <p>Décomposent l'eau au-dessus de 400° C.</p> <p>7. Aluminium. 8. Glucinium. 9. Zirconium.</p>	<p>Non caustiques; bases faibles, insolubles dans l'eau.</p>	<p>Insolubles dans l'eau.</p>
<p>B. Métaux pesants.</p> <p>Densité au-dessus de 6.</p> <p>On les emploie le plus ordinairement à l'état métallique; leurs sels sont le plus souvent vivement colorés et vénéneux.</p>	<p>Bases plus faibles que les précédents; en partie acides; insolubles dans l'eau; perdent leur eau d'hydratation à une faible température.</p>	<p>Combinaisons neutres; insolubles dans l'eau; cependant l'antimoine et plusieurs des métaux plus rares possèdent des sulfures qui agissent comme des acides.</p>
<p>a) Communs.</p> <p>Se rencontrent le plus souvent en combinaison avec l'oxygène et fréquemment avec le soufre et l'arsenic; passent à l'état natif, s'oxydent à l'air; décomposent l'eau à la chaleur rouge.</p> <p>10. Fer. 11. Manganèse. 12. Chrome. 13. Cobalt. 14. Nickel. 15. Zinc. 16. Étain. 17. Plomb. 18. Bismuth. 19. Antimoine. 20. Cuivre.</p>	<p>Sont, à peu d'exceptions près, solubles dans de forts acides; chauffés avec du charbon à la chaleur rouge ou à la chaleur blanche, ils abandonnent leur oxygène; sont pour la plupart infusibles; non volatils.</p>	<p>Les sulfures naturels ont la plupart du temps l'aspect de laiton, on les nomme <i>pyrites</i> ou <i>blendes</i>. Les sulfures artificiels ont des couleurs distinctives qui ont été indiquées au § 43; par le <i>grillage</i>, c'est-à-dire par leur chauffage à l'air, ils se transforment, partie en oxydes partie en sulfates.</p>
<p>b) Nobles.</p> <p>Se rencontrent le plus souvent à l'état natif; inaltérables à l'air; ne décomposent pas l'eau.</p> <p>21. Mercure. 22. Argent. 23. Or. 24. Platine.</p>	<p>Ont plutôt les caractères d'acides que de bases; se décomposent par la chaleur rouge en oxygène et en métal.</p>	<p>A l'exception du sulfure de mercure, lorsqu'ils sont chauffés au rouge, ils se réduisent en métal pur.</p>

a) MÉTAUX LÉGERS.

14. POTASSIUM.

K = 39 ; densité = 0,8, découvert en 1807.

71. Lorsqu'on mélange ensemble du carbonate de potasse $KO.CO^2$ et du charbon pulvérisés, et qu'on les expose dans une cornue en fer V, (fig. 36), à la chaleur blanche, le charbon enlève au potassium son

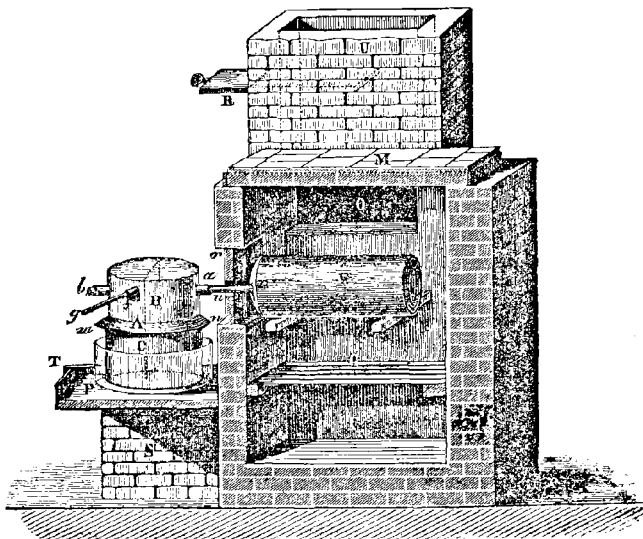


Fig. 36.

oxygène, et le potassium se volatilise sous forme de vapeurs verdâtres, qui vont se condenser, à l'état de petites sphères métalliques de la grosseur d'un pois, dans le récipient en cuivre A, qui est rempli jusqu'à moitié d'*huile de naphte*. Pour faciliter cette condensation l'on recouvre ce récipient d'une corbeille en fil de fer dans laquelle on a mis de la glace. Bien que les objets nécessaires à la préparation du potassium ne soient pas coûteux, les embarras de cette préparation, ainsi que la petite quantité de produit obtenue rendaient jusqu'à ces derniers temps le potassium fort cher. Maintenant que ce métal ainsi que le sodium se préparent en grand dans des fabriques, son prix a considérablement baissé.

Le potassium a l'éclat de l'argent et il est tellement mou, qu'on peut le

malaxer et le couper au couteau. Mais ce qu'il offre de plus remarquable c'est son affinité extraordinaire pour l'oxygène. En effet, dès qu'on le laisse à l'air libre, il absorbe instantanément de l'oxygène et se recouvre d'une couche grise d'oxyde de potassium. Il enlève avec la plus grande énergie l'oxygène aux corps qui en contiennent, et on ne peut, pour cette raison, le conserver à l'état métallique qu'en le tenant dans le naphte qui se compose de carbone et d'hydrogène, et ne contient par conséquent pas d'oxygène.

Une des plus jolies expériences chimiques consiste à jeter un petit morceau de potassium dans de l'eau, HO, contenue dans un vase à bords élevés. Le potassium se combine aussitôt avec l'oxygène de l'eau en dégageant une telle chaleur, que l'hydrogène devenu libre s'enflamme et brûle. Le potassium qui s'évapore et brûle en même temps communique à la flamme une belle couleur légèrement violette. Le métal en feu fait sur l'eau des zigzags bruyants, jusqu'à ce qu'il soit totalement converti en oxyde de potassium qui se dissout dans l'eau.



Fig. 37.

Le potassium par lui-même n'a pas d'emploi dans l'industrie; mais le chimiste utilise sa puissante affinité, pour enlever l'oxygène à différents autres oxydes, tels que l'acide silicique, l'acide borique, l'oxyde de magnésium.

72. Combinaisons du potassium. Le carbonate de potasse, $KO.CO^2$, est la combinaison potassique au moyen de laquelle on prépare toutes les autres. Pour obtenir ce sel, on traite les cendres de bois par de l'eau bouillante, on décante la solution qui forme un liquide brun; on l'évapore à siccité, et le résidu est chauffé. Cette masse d'un blanc grisâtre se nomme potasse et contient encore jusqu'à 40 p. c. de sels étrangers. Lorsqu'elle en a été purifiée, elle est parfaitement blanche, a une saveur légèrement alcaline et bleuit le tourne-sol rougi, parce que l'acide carbonique n'est pas suffisamment fort pour neutraliser les propriétés extrêmement alcalines de la potasse. A l'air, le carbonate de potasse attire l'eau avec avidité, et, à la fin, se liquéfie complètement.

Les cendres des diverses plantes renferment une quantité très-inégale de potasse. 1,000 livres des substances végétales suivantes donnent en potasse; le bois de pin, 0,45 livre; de bois de hêtre, 1,45 livre; l'écorce de chêne, 4 livres; la paille, 5 livres; l'écorce de hêtre, 6 livres; la fane de fèves, 20 livres; les orties, 25 livres; les chardons, 35 livres; les tiges d'absinthe, 73 livres. La fabrication devient de plus en plus rare dans les contrées boisées de l'Allemagne; elle se fait plus fréquemment en Russie et surtout dans les immenses forêts de l'Amérique.

On emploie le carbonate de potasse pour préparer toutes les autres combinaisons potassiques, telles que l'alun, le savon, le verre.

73. L'oxyde de potassium, KO , nommé ordinairement *potasse caustique*, s'obtient en combinaison avec de l'eau, c'est-à-dire, à l'état d'*hydrate de potasse*, $KO.HO$, lorsqu'on ajoute à une solution aqueuse de carbonate de potasse de la chaux éteinte, jusqu'à ce que celle-ci ait enlevé tout l'acide carbonique; ce que l'on reconnaît quand un petit échantillon de la liqueur filtrée, traitée par un peu d'acide chlorhydrique, ne fait plus effervescence. On fait clarifier la liqueur par le repos, puis on l'évapore et on calcine; alors on obtient l'*hydrate de potasse sec*, sous forme d'une masse blanche très-dure, qu'on nomme aussi *potasse caustique*, ou *Pierre à cautère*.

La solution de potasse caustique est *alcaline*, c'est-à-dire basique au plus fort degré, et elle est extrêmement caustique. Elle dissout la plupart des matières végétales et animales, surtout les graisses, et doit donc être considérée comme une substance dangereuse; en outre, comme elle attaque tous les vases contenant de la silice, on ne doit la manier, et par conséquent aussi ne la préparer, que dans des vases de fer ou d'argent.

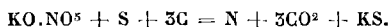
L'hydrate de potasse est employé en médecine sous le nom de *Pierre à cautère*, et sa solution est employée dans la *préparation du savon*. À l'air la potasse attire de l'acide carbonique et se transforme insensiblement en carbonate de potasse, perdant ainsi ses propriétés caustiques.

74. Un sel potassique important est l'*azotate*, $KO.NO^5$, appelé vulgairement *salpêtre* ou *nitre*. Nous nous le procurons, soit par la voie du commerce, sous le nom de *nitre brut des Indes*, qui dans l'Inde et en Egypte se trouve à la surface du sol, soit en décomposant par la potasse le *salpêtre du Chili*, c'est-à-dire, un azotate sodique $NaO.NO^5$ qui nous vient d'Amérique; enfin, on l'obtenait jusqu'ici en Europe, principalement dans les *nitrières artificielles*, par un procédé qui fournissait en même temps l'acide azotique nécessaire à la formation du salpêtre. Comme nous l'avons dit au § 39, l'azote ne se combine avec l'oxygène, pour former de l'acide azotique, que dans des circonstances particulières. Cela arrive surtout lorsque des matières animales azotées se trouvent en contact avec des oxydes métalliques et sont abandonnées à la décomposition spontanée. Il se forme alors de l'acide azotique qui s'unit aux oxydes, c'est ce qui a lieu dans les écuries, au voisinage des fumiers, et généralement là où des matières animales se putréfient, et il n'est pas rare de voir sur les murs une couche de petits cristaux de salpêtre d'un goût légèrement amer et rafraîchissant. De même, lorsqu'on mélange avec intention des matières animales, du fumier avec de la terre humide contenant de la potasse et de la chaux, on donne lieu à la formation du salpêtre. C'est de ces masses salpêtrées qu'on extrait ce sel au moyen de l'eau chaude, et on le purifie en le faisant

cristalliser plusieurs fois, jusqu'à ce qu'on l'obtienne enfin en belles colonnes hexagonales.

Le salpêtre a une saveur salée rafraichissante; on l'emploie en médecine et pour la préparation de l'acide azotique; il constitue également un excellent engrais. Il fond sous l'influence de la chaleur, et si alors des matières combustibles viennent en contact avec lui, elles lui enlèvent l'oxygène dont il est extrêmement riche et brûlent avec une grande vivacité. C'est sur ce principe qu'est basé l'emploi de ce sel dans la fabrication de la poudre à tirer.

La poudre à tirer est un mélange de 75 parties de salpêtre, de 12 parties de soufre et de 13 parties de charbon, qu'on réduit d'abord isolément en poudre extrêmement fine et qu'on mélange ensuite à l'état humecté. On passe ensuite la masse à travers un tamis, de manière qu'il se forme de petits grains qu'on polit ensuite, en les roulant dans un petit tonneau avec un peu de poussier de charbon. L'effet de la poudre à tirer s'explique aisément. C'est un corps solide qui, à l'instant même de son inflammation, se décompose en plusieurs combinaisons gazeuses. Celles-ci sont extrêmement dilatées par la chaleur qui se produit en même temps, de sorte qu'elles peuvent vaincre les obstacles les plus forts et provoquer des effets terribles. Dans la combustion de la poudre, il se produit principalement de l'azote, de l'acide carbonique et du sulfure de potassium. L'action peut s'exprimer par l'équation suivante :



75. Le chlorate de potasse, $\text{KO} \cdot \text{Cl} \text{O}^3$, s'obtient sous forme de belles paillettes luisantes, lorsqu'on amène du chlore gazeux dans une dissolution concentrée de potasse. Ce sel, extrêmement riche en oxygène, brûle les matières combustibles avec plus de vivacité encore que le salpêtre et est par conséquent très-dangereux. Cependant il est employé dans la pâte des allumettes phosphoriques, pour les feux d'artifice et pour la préparation de l'oxygène.

En combinaison avec l'acide silicique, la potasse est contenue dans un grand nombre de minéraux, surtout dans le *feldspath*, $\text{KO} \cdot \text{Si} \text{O}^3 + \text{Al}^3 \text{O}^3 \cdot 3\text{Si} \text{O}^3$, qui contient en outre du silicate d'alumine. C'est par l'efflorescence de ce silicate de potasse que la potasse est répandue dans la plupart des sols, où elle sert d'aliment essentiel aux plantes, d'où nous l'extrayons plus tard.

Le silicate de potasse artificiel s'obtient en calcinant 3 parties de sable avec 2 parties de potasse. La masse fondue peut être dissoute dans l'eau et sert sous le nom de *verre soluble* ou *liqueur de cailloux*, pour enduire des objets facilement inflammables et les garantir ainsi contre le feu.

En fondant la potasse avec une plus grande quantité d'acide silicique,

on obtient le verre, dont nous nous réservons de parler à l'occasion de la soude.

76. Le *foie de soufre*, qui mérite une attention particulière, est un pentasulfure de potassium, KS_5 . Il se produit lorsqu'on mélange du carbonate de potasse parfaitement sec et du soufre pulvérisés et qu'on les chauffe doucement. Il se forme alors une masse fondue d'un beau brun, couleur de foie, d'où lui vient son nom : il est presque aussi alcalin que la potasse caustique. La dissolution est jaune ; lorsqu'on y ajoute un acide, elle dégage de l'acide sulfhydrique, et il se dépose en même temps une partie de soufre sous forme d'un précipité blanc très-fin, nommé *lait de soufre*. A l'air, ce sulfure de potassium attire de l'oxygène et de l'humidité, et se transforme en sulfate de potasse. On utilise le sulfure de potassium en médecine, surtout pour les bains sulfurés, et en chimie, comme moyen désoxydant. Sa solution peut absorber encore une quantité considérable de soufre.

Parmi les sels haloïdes du potassium, nous mentionnerons l'*iodure de potassium*, beaucoup employé en médecine, et le *cyanure de potassium*, vénéneux. Ce dernier sert dans beaucoup d'opérations chimiques et techniques comme moyen de réduction, c'est-à-dire pour enlever à des oxydes leur oxygène, ainsi que pour préparer certaines solutions de métaux en vue de décompositions galvaniques.

15. SODIUM.

Na = 23; densité 0,9; découvert en 1807.

77. Ce métal se prépare au moyen du carbonate de soude, Na_2CO_3 , absolument de la même manière que le potassium. Depuis qu'on utilise ce métal en grand pour la préparation de l'aluminium, sa fabrication s'est considérablement améliorée, et son prix a diminué d'une façon remarquable. Il y a vingt ans environ qu'une livre de sodium coûtait environ 3,600 francs; il y a quelques années encore, 500 fr.; maintenant il se vend dans le commerce 60 francs et à Paris 26 francs, ce qui est à peu près le double de ses frais de production.

Le sodium a généralement tous les caractères extérieurs du potassium, à l'exception cependant que, jeté sur l'eau, il décompose à la vérité celle-ci avec vivacité, mais il ne s'enflamme pas. Mais si on place du sodium sur du papier brouillard humide, il y a, par suite du frottement sur celui-ci, inflammation, et le métal brûle avec une belle flamme jaune.

Outre cela, l'oxyde de sodium, Na_2O , nommé encore *soude*, et le *sulfure de sodium* ont, sous le rapport de leur préparation, de leurs propriétés et de leur emploi, une telle analogie avec les composés potassiques corres-

pendants, qu'il est inutile de les décrire. Nous passerons donc immédiatement aux combinaisons sodiques offrant des caractères particuliers.

78. Le *chlorure de sodium*, NaCl , est mieux connu sous son nom vulgaire de *sel de cuisine*, que nous lui conserverons pour cette raison. Certainement chacun appréciera l'importance de ce corps, qui est pour les hommes et les animaux un aliment indispensable. Le sel de cuisine présente en outre une grande importance dans l'industrie, car il est la source unique où nous puisons le *chlore*, qui est d'un usage général, et il est en même temps la substance qui contient l'élément principal de la soude.

Le sel de cuisine n'est pas répandu en trop grande abondance dans la nature; aussi cet objet de première nécessité a-t-il déjà plusieurs fois donné lieu à des dissentiments entre des peuples et certains États se sont assurés par des traités politiques de ne jamais en manquer.

Il se trouve soit en amas solides dans la terre, *sel gemme*, soit en dissolution dans l'eau, dans des *sources salées*, soit enfin dans l'eau de la mer. D'après cela, son mode d'extraction varie. Le sel gemme s'extrait dans des mines, surtout dans les environs de Salzbourg. — Les sources salées peuvent être naturelles ou bien produites artificiellement par le forage de puits artésiens jusque dans les couches salées. Ces eaux doivent être évaporées jusqu'à ce qu'elles soient assez concentrées pour que le sel de cuisine se cristallise. Si ces eaux sont saturées naturellement, c'est-à-dire lorsque 400 livres contiennent 15 à 22 livres de sel, on les place immédiatement dans les chaudières. Mais les eaux qui ne sont que faiblement chargées de sel, qui n'en contiennent que quelques centièmes, doivent, par économie de combustible, être d'abord concentrées ou graduées à l'air libre. A cette fin, on les fait couler goutte à goutte à travers des bâtiments dits de *gradation* et dans lesquels on a accumulé à une grande hauteur des fagots d'épine. L'air qui passe à travers ces fagots enlève à ce liquide ainsi divisé une très-grande partie d'eau. On répète cette manœuvre jusqu'à ce que l'eau soit suffisamment concentrée.

Enfin, dans les chaudières le sel se sépare sous la forme de petits cristaux rassemblés en gradins, forme sous laquelle nous l'employons journellement dans nos ménages.

Les eaux salées contiennent toujours à côté du sel de cuisine encore d'autres sels, dont les moins solubles se déposent, tandis que les sels solubles restent dans l'eau-mère.

De 100 livres d'eau de mer on peut obtenir environ $2\frac{1}{2}$ livres de sel. Pour cela on fait arriver sur le littoral des pays chauds l'eau de la mer dans des étangs plats, nommés *marais salants*. Là les vents chauds évaporent l'eau et laissent comme résidu le sel qu'on purifie ensuite, mais qui n'acquiert jamais la pureté du sel gemme. Pour le distinguer, on le nomme *sel marin*.

La vente du sel est souvent monopole de l'État; pour l'usage des fabri-

ques, on le vend souvent à prix réduit, mais on le dénature, c'est-à-dire qu'on le mélange avec un peu de charbon ou d'ocre; la même chose se fait pour le sel destiné au bétail ou bien à servir d'engrais.

79. Dans le voisinage des salines ou de la mer croissent les plantes dites salines (salsola et salicornia), qui livrent après leur combustion dans la cendre le carbonate de soude, NaO.CO_2 , qu'on nomme encore tout simplement *soude*. Le même sel, mais moins pur, s'obtient par la combustion des *fucus* qui croissent dans la mer. Mais la plus grande partie de la soude se prépare maintenant dans de grandes fabriques au moyen du chlorure de sodium. A cette fin, on transforme d'abord par l'acide sulfurique le sel de cuisine en sulfate de soude, NaC.SO_3 , opération qui donne, comme produit accessoire, de l'acide chlorhydrique (*ClH*, § 45). On soumet ensuite le sulfate de soude avec du charbon et du carbonate de chaux à l'influence de la chaleur, d'où résulte un oxysulfure de calcium insoluble et du carbonate de soude soluble. On extrait ce dernier par l'eau, et on le présente alors dans le commerce soit en beaux cristaux hydratés, qu'on nomme *soude cristallisée*, soit, après calcination, comme soude anhydre, qu'on nomme *soude calcinée*.

Ce sel offre dans ses caractères chimiques la plus grande analogie avec le carbonate de potasse (§ 72), et en effet ces deux sels peuvent se suppléer dans la plupart de leurs applications. Mais la soude n'attire pas l'humidité de l'air. On l'emploie principalement dans la fabrication du savon dur, du verre, et dans la teinturerie.

Le *bicarbonate de soude*, NaO.2CO_2 , se produit lorsqu'on fait passer de l'acide carbonique sur du carbonate de soude étendu; on l'emploie fréquemment pour préparer des boissons mousseuses (§ 58).

80. Le *sulfate de soude*, NaO.SO_3 avec 10 équivalents d'eau de cristallisation, s'obtient, ainsi que nous l'avons dit plus haut, dans la préparation du carbonate de soude. Ce sel, très-souvent employé comme purgatif, était déjà connu au xvii^e siècle et était appelé d'après le nom de celui qui l'a découvert, sel admirable de Glauber (sal mirabile Glauberi). On l'emploie en plus grande quantité dans la fabrication du verre. Lorsqu'on réduit en poudre fine 7 onces de sulfate de soude cristallisé, et qu'on le mélange avec 3 onces d'acide sulfurique étendu de 2 onces d'eau, le tout se refroidit à 10 ou 12° C. sous zéro, de sorte que de l'eau qu'on y plonge dans un vase étroit, gèle rapidement. Ce fait est dû à ce que l'eau de cristallisation doit absorber de la chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide, ce que l'acide sulfurique le force de faire.

Azotate de soude, NaO. NO_3 , se rencontre dans le commerce sous le nom de *salpêtre du Chili*; il s'en trouve des couches considérables dans le Chili et le Pérou; il sert à la fabrication de l'acide azotique, du salpêtre et constitue un excellent engrais.

L'*hyposulfite de soude*, $\text{NaO.S}^2\text{O}^2 + 5\text{HO}$, possède la propriété de dissoudre facilement le chlorure et l'iodure d'argent, et s'emploie pour cette raison dans la photographie. Il sert en outre, sous le nom d'anti-chlore, pour enlever complètement le chlore des étoffes blanchies. Pour sa préparation, V. § 42.

Borate de soude, Na O. 2BO^3 , avec 5 à 10 équiv. *HO*, nommé aussi *borax*, se trouve en Chine à l'état impur sous le nom de *Tinkal*. Le borax sert principalement dans la soudure et la fusion des métaux, où il empêche l'action de l'air et facilite la réunion; on l'emploie aussi dans les essais au chalumeau.

Unie à l'*acide silicique*, la soude se rencontre moins fréquemment dans le règne minéral que la potasse; cependant le natrolithe, l'albite et d'autres silicates de soude ne sont pas précisément rares. Par contre, le silicate de soude forme un élément de la majeure partie du verre employé de nos jours.

SI. Le verre. En faisant fondre de l'acide silicique ou de la silice avec certains oxydes métalliques, il se forme cette masse transparente, insoluble, d'une dureté considérable et d'une cassure écaillée, que nous nommons le verre. Pour la préparation de celui-ci, on emploie de préférence la *potasse*, la *soude*, la *chaux* et l'*oxyde de plomb*, qui livrent des verres transparents et incolores. Les autres oxydes des métaux pesants donnent un verre d'une coloration qui va jusqu'à l'opacité; on ne les ajoute pour cette raison qu'en petite quantité aux verres colorés. Du verre commun contient aussi de l'*alumine*.

La silice est l'élément principal de tout verre; sa quantité constitue 50 à 76 p. c. dans les différentes espèces de verre et elle influe essentiellement sur ses qualités. Le verre riche en silice est très dur et résiste de la manière la plus parfaite à l'action dissolvante de liquides acides ou alcalins; le verre pauvre en silice est attaqué par le vinaigre et même par le vin.

A une très forte chaleur, le verre se ramollit; il devient pâteux, liquide, se laisse souffler, tirer, tisser, fondre, cylindrer et presser dans des formes. Cependant les différentes sortes de verre se comportent dans ces cas d'une manière fort inégale.

Chaque verre est un composé d'au moins deux silicates métalliques et d'après la prédominance de l'un d'eux on distingue: 1° Le verre de potasse avec de la chaux. Il est dur, parfaitement incolore, difficilement fusible, et pour cette raison particulièrement propre pour certains appareils chimiques: le magnifique cristal de Bohême possède cette composition; 2° Le verre de soude avec de la chaux est dur, plus facilement fusible, et d'un vert bleuâtre: il sert principalement pour la fabrication

du verre à vitre. Ces deux espèces de verre sont du reste employées pour la confection du verre creux et de la verrerie de table de toute espèce. Les glaces pour miroirs répondent dans leur composition à un mélange de ces deux espèces; 3° On désigne sous le nom de verre de chaux la sorte la plus commune de verre, où la chaux prédomine, mais dans laquelle entrent cependant de la potasse, de la soude, de l'alumine et de l'oxyde de fer; on peut aussi l'appeler verre de bouteille, car on en fait des bouteilles de pharmacie d'un vert pâle, des bouteilles vertes et bleues; 4° Le verre de plomb, qui à côté du plomb contient encore de la potasse, possède une faible dureté, est le plus facilement fusible et se distingue par son grand poids, par la vivacité de son éclat et par sa faculté de réfracter fortement la lumière; les verres confectionnés avec cette masse ont un son particulièrement beau. A cause de ces propriétés on le nomme encore cristal anglais ou verre sonore, et on l'emploie surtout à des instruments d'optique. On distingue en optique deux espèces de verre avec des facultés de réfraction de lumière différentes, savoir le *crownglas*, qui appartient à la première, et le *flintglas*, qui appartient à la quatrième des espèces de verre nommées. Tous les deux se préparent avec des soins tout particuliers et avec les matériaux les plus purs.

COMPOSITION DES DIFFÉRENTES SORTES DE VERRE :

ÉLÉMENTS.	Cristal de Bohême.		Verre à vitre.		Glaces à miroirs.		Verre de bouteille.		Cristal anglais.	Crownglas.	Flintglas.
Acide silicique...	71	ou 76	69	ou 69	75	ou 68	69	ou 60	56	62,8	44,3
Potasse.....	12	13	—	—	5	6	8	3	6	22,1	11,7
Soude.....	2	0	15	11	12	8	3	3	—	—	—
Chaux.....	10	8	13	12	5	11	13	22	—	12,3	—
Alumine.....	—	—	3	7	3	1	3	8	1	2,6	—
Oxyde de plomb..	—	—	—	—	—	—	—	—	34	—	43,0
Oxydule de fer...	—	—	—	—	—	—	2	4	—	—	—

Pour faire le verre, on commence par réduire en poudre très-fine les éléments qui doivent le composer, auxquels on ajoute toujours des fragments de verre cassé; on les sèche ensuite à la chaleur, puis on les introduit peu à peu dans les creusets I, qui sont placés au nombre de 6,8, jusqu'à 10, dans un fourneau voûté (fig. 38), tenu constamment au rouge

par un feu entretenu toute l'année sans discontinuer. Au bout de 12 heures environ, la masse de verre est liquide, et dans les 12 heures

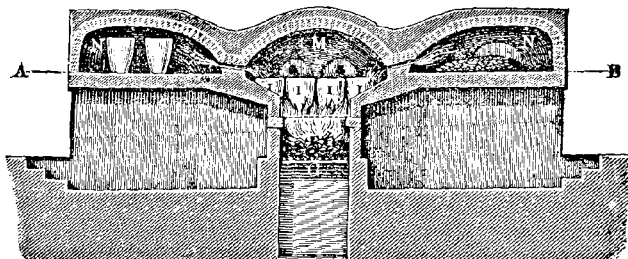


Fig. 38.

qui suivent on le travaille, ce qui se fait d'une manière différente selon les objets que l'on veut confectionner. L'outil principal de l'ouvrier



Fig. 39.

verrier est ce qu'on nomme la *canne* : c'est un tube en fer de 3 à 4 pieds de long (fig. 39), qu'il plonge

dans le verre liquide, après quoi il souffle le verre, qui y reste adhérent, à peu près comme on souffle les bulles de savon.

En la frottant, l'allongeant, la pliant, la moulant sur une forme, l'ouvrier

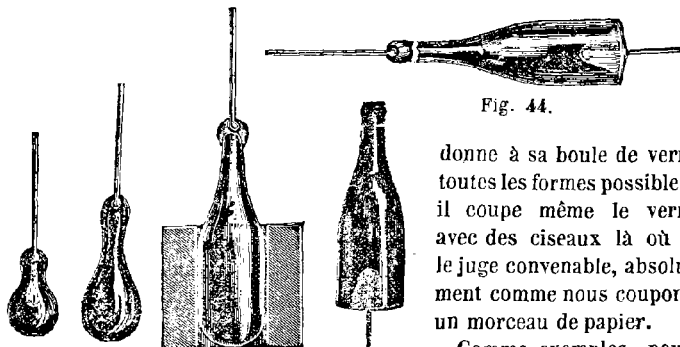


Fig. 44.

donne à sa boule de verre toutes les formes possibles; il coupe même le verre avec des ciseaux là où il le juge convenable, absolument comme nous coupons un morceau de papier.

Fig. 40.

Fig. 41.

Fig. 42.

Fig. 43.

Comme exemples, nous montrons dans les fig. 40 à 44 les différentes formes

qu'affecte une bouteille jusqu'à achèvement complet.

Pour confectionner du verre en tables ou du verre à vitres on souffle un

long cylindre creux ; on l'ouvre d'abord par le bas, puis on l'élargit, et on le coupe longitudinalement, comme les fig. 45 à 48 le démontrent. Ce



Fig. 45.



Fig. 46.

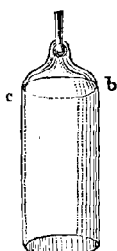


Fig. 47.



Fig. 48.

cylindre est alors porté dans un four particulier, dit *four à étendre*, où on l'étend en carreaux sur une plaque chaude (fig. 49). Les grandes

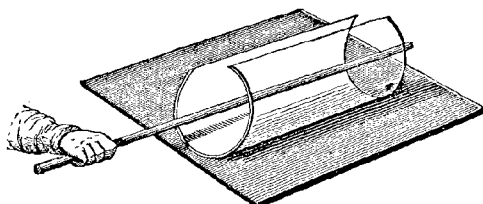


Fig. 49.

glaces à miroir sont coulées, taillées et polies, autant de travaux difficiles et pénibles qui rendent ces glaces assez coûteuses.

83. Le verre coloré s'obtient en ajoutant à la masse certains oxydes métalliques que nous indiquerons chaque fois à côté de la couleur qu'elle donne. La coloration *noire* est fournie par un mélange d'oxydure de fer, d'oxyde de manganèse, d'oxyde de cuivre, d'oxyde de cobalt ; le *bleu*, par l'oxyde de cobalt ; le *violet*, par l'oxyde de manganèse ; le *vert*, par l'oxyde de cuivre et l'oxyde de chrome ; le *vert de bouteille*, par l'oxydure de fer ; le *rouge pourpre*, par l'oxyde d'or avec l'oxyde d'étain ; le *rouge feu*, par l'oxydure de cuivre, le *rouge chair*, par l'oxyde de fer ; le *jaune*, par l'oxyde d'antimoine, d'argent et de fer.

Le verre de plomb pur, très luisant et coloré, se nomme *strass* et est employé pour la pierrerie fausse et pour les perles de verre.

Une addition d'oxyde d'étain rend le verre blanc ou coloré opaque ; dans ce cas, on le nomme *émail* et on l'emploie pour faire des perles à tricoter et toute espèce d'ornements.

Le verre demi-transparent, dit *verre louche*, qu'on emploie comme abat-jour, se produit lorsqu'on ajoute à la masse des os brûlés à blanc.

La *peinture sur verre* se fait par deux procédés. Dans l'un, on réunit des morceaux de différents verres teints au moyen de plomb; dans l'autre, on fait couler sur du verre une masse fusible colorée; à certaines places on la fait sortir par le frottement ou en l'attaquant par l'acide fluorhydrique, et on y fait couler des masses fusibles d'une autre couleur, de façon à obtenir différents dessins. Les couleurs qui souffrent le moins le feu, sont portées les dernières. Cet art magnifique a reparu en ces derniers temps dans tout son éclat, grâce au secours que lui prête la chimie.

AMMONIAQUE.

§4. Comme nous le démontrerons plus tard, il se trouve, dans tous les liquides obtenus par la distillation sèche des corps azotés, une combinaison volatile d'azote et d'hydrogène NH^3 qui possède tous les caractères d'un oxyde métallique et qu'on nomme *ammoniaque*.

On obtient l'ammoniaque à l'état pur en chauffant du chlorhydrate d'ammoniaque, $NH^3.ClH$, avec de la chaux éteinte et en recueillant le gaz, qui se dégage, sous la cuve à mercure. Il est incolore, d'une odeur pénétrante et attaque les yeux. Dans les lieux d'aisances, il se forme en grande abondance, surtout lorsque le temps est humide. Il s'y décèle par son odeur insupportable. Dans les écuries, il s'en forme également de grandes quantités par la décomposition de l'urine des chevaux.

Si l'on fait passer du gaz ammoniac dans de l'eau, celle-ci l'absorbe avec avidité, et la dissolution saturée se nomme *ammoniaque liquide* ou *esprit de sel ammoniac*. Elle est claire comme de l'eau et possède à un haut degré l'odeur et la saveur caractéristiques de l'ammoniaque gazeux. On l'emploie dans les cas d'asphyxie par l'acide carbonique (V. § 58).

Le *chlorhydrate d'ammoniaque*, $NH^3.ClH$, s'obtient en saturant par de l'acide chlorhydrique le liquide alcalin obtenu par la distillation sèche des matières animales ou de la houille, en évaporant ensuite la liqueur et en la sublimant. C'est un sel blanc, nommé aussi *sel ammoniac*, parce qu'il venait autrefois de la province égyptienne Ammonium, où on le préparait par la distillation de la fiente de chameau.

Le *carbonate d'ammoniaque*, $NH^3.HO.CO^2$, se cristallise dans la liqueur alcaline citée tout à l'heure, et se purifie par des solutions répétées.

Toutes les combinaisons ammoniacales ont une saveur âcre particulière et dégagent, lorsqu'elles sont mélangées avec de la chaux, l'odeur caractéristique de l'ammoniaque. Ce sont tous des médicaments très précieux agissant surtout sur la peau comme sudorifiques. En chimie, elles ont surtout de l'importance parce qu'elles sont volatiles et qu'on peut

les expulser par la chaleur, ce qui les rend propres à beaucoup d'analyses. Indépendamment de cela, beaucoup de combinaisons ammoniacales présentent la plus grande analogie avec les combinaisons potassiques et sodiques correspondantes, et il se produit en conséquence fréquemment des actions tout à fait identiques, lorsque dans certains cas on emploie l'ammoniaque, la potasse ou la soude, ou qu'à la place de carbonate ou de sulfhydrate d'ammoniaque on emploie les carbonates de potasse ou de soude ou le sulfure de potassium.

L'ammoniaque offre en outre un grand intérêt lorsqu'on le considère dans ses rapports avec le monde végétal. On peut admettre que tout l'azote que les plantes contiennent provient de l'ammoniaque qu'elles absorbent. Les sels d'ammoniaque s'emploient donc également comme engrais.

A cause de la ressemblance de l'ammoniaque avec des oxydes métalliques, on a émis la supposition que ses combinaisons contiennent un corps métallique composé qui se nommerait Ammonium, NH^4 ; mais personne jusqu'ici n'est parvenu à l'isoler.

16. CALCIUM.

Ca = 20; densité = 1,58.

85. Ce métal constitue une partie considérable de la masse terrestre, car des montagnes entières se composent de carbonate calcaire. Il est en outre un élément qui ne manque jamais ni dans les plantes, ni dans les animaux. Par lui-même il se distingue des autres métaux légers en ce qu'il possède une couleur jaune clair. Il est surtout important par ses combinaisons. Nous considérons d'abord :

L'oxyde de calcium, CaO , nommé aussi *chaux*. On l'obtient par la calcination du carbonate de chaux, opération dans laquelle l'acide carbonique s'échappe à l'état gazeux. Cette calcination se fait en grand dans ce qu'on nomme les fours à chaux.

Les propriétés de la chaux calcinée ou chaux vive sont connues. Humectée avec de l'eau, elle se combine avec dégagement considérable de chaleur et forme l'hydrate de chaux, $CaO.H_2O$, nommé vulgairement *chaux éteinte*. Dans cette opération la chaux se gonfle d'abord, elle tombe ensuite en une poussière blanche et sèche. Lorsqu'on y ajoute de l'eau en plus grande quantité, il se produit un liquide blanc, le *lait de chaux*, qui dépose une pâte calcaire, tandis que le liquide devenu plus clair constitue une solution aqueuse nommée *eau de chaux*.

La chaux est fortement caustique, d'où le nom de *chaux vive*; elle attire avec une grande avidité l'acide carbonique de l'air, en se transformant de

nouveau en carbonate de chaux et perdant ainsi ses propriétés caustiques. Lorsqu'on laisse une pâte calcaire exposée à l'air, elle se transforme en peu de temps en carbonate de chaux dur comme la pierre. C'est sur cette propriété que se base son emploi dans le mortier et la précaution prise par les maçons de conserver leur pâte calcaire dans des fosses profondes et de la recouvrir de terre.

La chaux vive est employée dans le blanchissage, dans le tannage, pour enlever les poils, et dans beaucoup de travaux chimiques.

86. Le carbonate de chaux CaO.CO^2 , se rencontre dans la nature sous des formes aussi multiples que le charbon ou la silice. C'est ainsi que le spath calcaire est incolore, transparent et cristallisé; le marbre est blanc à gros grains et dur, et la craie est blanche et molle au point de déteindre sur les objets qu'elle touche. D'autres pierres calcaires sont colorées par la présence d'oxydes métalliques. On trouve ainsi du calcaire gris, jaune, noir, brun, rouge, voire même de différentes couleurs entremêlées, comme cela a lieu dans plusieurs belles espèces de marbre. Mais toutes ont cela de commun que, humectées par de l'acide chlorhydrique, elles dégagent avec effervescence de l'acide carbonique et que par la calcination elles fournissent de la chaux vive.

Comme on le voit, le carbonate de chaux est donc sous toutes ses formes une matière très importante, non-seulement pour le statuaire, mais encore par son emploi dans les bâtisses; ce n'est que pour la construction des routes qu'il convient moins, parce qu'il possède une dureté proportionnellement moins grande.

Le carbonate de chaux constitue une partie des os des animaux et toute l'écaille des mollusques, le tronc des coraux et l'écaille des œufs. Nous devons donc le compter parmi les aliments nécessaires de la plupart des animaux.

Quoique insoluble dans l'eau par lui-même, ce sel ne manque pourtant presque jamais dans les eaux, parce que celles-ci renferment toujours un peu d'acide carbonique, qui est capable de dissoudre le carbonate de chaux. Mais lorsqu'on chauffe quelque peu une eau semblable, l'acide carbonique, qui est volatil, s'échappe, et la chaux se dépose sous forme d'une croûte blanche dans le fond des vases. On a dans chaque ménage l'occasion de voir de pareilles incrustations, surtout dans les bouilloires, et quand l'eau est très-calcaire, on en trouve même dans les carafes et les verres. On détruit le plus facilement cette croûte calcaire en versant dans le vase un peu d'acide chlorhydrique étendu d'eau ou du fort vinaigre, car ces substances la dissolvent. Dans les générateurs des machines à vapeur, il se forme également des incrustations calcaires, au grand détriment de leur emploi. Les stalactites et stalagmites des grottes doivent également leur origine à la solubilité de ce bicarbonate calcaire.

87. Le *sulfate de chaux*, $\text{CaO.SO}_5 + 2\text{HO}$, se rencontre en masses considérables et porte le nom de *plâtre*. Ce minéral se rencontre à l'état cristallisé, ou bien à l'état d'une masse granuleuse blanche, comme du sucre; dans ce dernier cas, on le nomme albâtre et on en travaille différents petits objets d'ornement, car il est tellement mou qu'on peut presque le couper au couteau. Le plâtre contient, ainsi que sa formule l'indique, de l'eau de cristallisation, qu'elle perd par une légère calcination. Moulé et calciné, il acquiert la propriété de reprendre, après avoir été réduit en pâte avec de l'eau, son eau de cristallisation et de durcir promptement en formant de nouveau du plâtre hydraté. Cette propriété en fait une matière précieuse pour les artistes qui l'emploient pour faire les statuettes en plâtre généralement connues. C'est grâce à lui que les œuvres de l'art ancien et moderne ont été mises à la portée de tout le monde.

Le plâtre offre encore une application utile comme engrais, point sur lequel nous reviendrons en faisant l'histoire de la nutrition des plantes. Il est un peu soluble dans l'eau, à laquelle il donne un goût terreux, légèrement amer et désagréable.

Le *phosphate de chaux*, 5CaO.PO_5 , constitue les $\frac{4}{5}$ des os calcinés; il est employé pour la préparation du phosphore et, sous forme de poudre d'os, comme engrais. C'est un des aliments minéraux essentiels des plantes, et en effet toutes les semences de céréales contiennent ce sel, qui parvient à l'homme surtout au moyen du pain.

Le *silicate de chaux* nous est déjà connu comme élément constitutif du verre. Une foule de minéraux et leurs débris contiennent de la silice et de la chaux. Nous ne citerons ici que ce qu'on nomme le *ciment hydraulique*, composé principalement de silice, de chaux et d'alumine, qui se rencontrent dans la nature sous le nom de *trass*, ou qu'on prépare artificiellement. Quand il est réduit en poudre fine et mélangé avec un peu d'eau, il durcit très vite, même sous l'eau; c'est pourquoi il s'applique très avantageusement pour des ouvrages hydrauliques et pour préserver certains endroits de la pénétration de l'eau.

88. *Hypochlorite de chaux*, CaO.ClO . Lorsqu'on fait arriver du chlore sur de la chaux hydratée (§ 85), il se forme un mélange de chaux, Ca O , de chlorure de calcium, CaCl , et d'hypochlorite de chaux, qu'on rencontre dans le commerce sous forme d'une poudre blanche humide, ayant une légère odeur de chlore et portant le nom de *chlorure de chaux*.

Lorsqu'on verse sur du chlorure de chaux un acide, même des plus faibles, il se développe du chlore en abondance, et c'est aussi le moyen le plus commode et le plus employé pour produire des vapeurs de chlore. Le chlorure de chaux est employé en très grandes quantités dans les blanchisseries, et nos domiciles le réclament quelquefois à cause de sa propriété de détruire les odeurs. On l'emploie sous forme de fumigations

dans des chambres mortuaires, dans les hôpitaux, etc.; on en met, dans ce cas, une certaine quantité dans une soucoupe, on y ajoute tout autant d'acide chlorhydrique étendu d'un peu d'eau, et on remue en détournant la face, de peur d'aspirer du chlore pur. On a eu soin auparavant de bien fermer toutes les ouvertures de la chambre, et on les ouvre de nouveau au bout de quelques heures. Lorsqu'on veut employer le chlore dans des lieux où se tiennent des personnes, le plus convenable est de tremper un linge dans une solution concentrée de chlorure de chaux et de le pendre dans la chambre. Lorsqu'on veut blanchir du papier écrit, ou des lithographies souillées, etc., on prend une solution filtrée de chlorure de chaux, on y met un peu d'acide chlorhydrique et on trempe l'objet dans ce liquide, jusqu'à ce qu'on ait atteint son but. Après cela on rince plusieurs fois le papier, on le met ensuite pendant plusieurs heures dans un grand vase avec de l'eau pure et on le sèche entre du papier buvard. Les taches d'encre disparaissent de cette manière complètement.

89. Le chlorure de calcium, $CaCl$, se produit quand on dissout du carbonate de chaux dans de l'acide chlorhydrique; il se forme des cristaux très-déliquescents qui, mélangés avec de la neige, se fondent et produisent un froid très-grand, qui descend jusqu'à $-45^{\circ} C$. Le chlorure de calcium sec attire l'eau avec une très grande avidité, et s'emploie en conséquence fréquemment pour enlever l'humidité, surtout pour sécher les gaz, en les faisant passer à travers des tubes remplis de chlorure de calcium,

Le sulfure de calcium uni à de l'acide sulhydrique se produit, lorsqu'on fait arriver ce gaz dans du lait de chaux; la solution est employée pour détruire les poils.

17. BARIUM.

Ea = 68.

90. Ce métal est loin d'être aussi abondant que le précédent: il forme avec l'oxygène l'oxyde de baryum, BaO , autrement appelé la baryte. Sa combinaison la plus importante est ce qu'on nomme le *spath pesant*, c'est-à-dire du sulfate de baryte $BaO.SO_3^2$, minéral blanc, d'une cristallisation serrée, qui se distingue de tous les minéraux terreux par sa grande densité = 4,44. Réduit en poudre fine, le spath pesant est employé comme couleur blanche sous le nom de *blanc fixe*. Il couvre moins que la céruse, mais il a l'avantage de ne pas devenir jaune et noir avec le temps. Le *blanc permanent* est du sulfate de baryte obtenu par précipitation. Le sulfate de baryte est complètement insoluble dans l'eau.

Le nitrate de baryte, $BaO.NO_3$, est employé dans les feux d'artifice pour produire un feu vert. Voici la composition employée à cet effet :

20 parties en poids de soufre, 33 parties de chlorate de potasse et 80 parties de *sulfate de baryte*.

Le *carbonate de baryte*, $BaO.CO_2$, se rencontre comme minéral sous le nom de *witherite*; il est vénéneux; il en est de même de toutes les préparations barytiques solubles, dont plusieurs sont fréquemment employées dans la chimie analytique.

18. STRONTIUM.

Sr = 45.

91. Ce métal, assez rare, se distingue par cette particularité que ses vapeurs communiquent à la flamme une couleur rouge pourpre extrêmement belle. C'est aussi là le seul emploi qu'on en fait. Car, lorsqu'on dissout du chlorure de strontium, $SrCl$, dans de l'alcool, celui-ci brûle avec une belle flamme rouge. L'oxyde de strontium, SrO , se nomme *strontiane*.

On obtient un feu rouge magnifique en enflammant le mélange sec suivant: 10 parties nitrate de strontiane, 1 $\frac{1}{4}$ part. chlorate de potasse, 3 $\frac{1}{4}$ part. sulfure d'antimoine, $\frac{1}{2}$ partie charbon.

19. MAGNESIUM.

Mg = 42; densité = 1,743.

92. Le magnésium est un métal blanc, d'un éclat argentin, assez dur et inaltérable à l'air; il est assez répandu et entre quelquefois dans la composition de montagnes entières. Ses combinaisons solubles se distinguent par une saveur *amère* et par une action purgative; son emploi se borne à peu près exclusivement à la médecine. Son oxyde se nomme *magnésie*.

Le *chlorure de magnésium* se rencontre dans l'eau de mer, à laquelle il donne son goût désagréable et qu'il rend impotable. Il se rencontre encore dans beaucoup de sources salines.

Le *sulfate de magnésie*, $MgO.SO_3$, nommé encore *sel amer*, sel d'Angleterre, sel de Sedlitz, etc., se trouve dans l'eau de mer, et en grande abondance dans certaines eaux minérales, telles que celles de Saidschütz, de Sedlitz, de Püllna et d'Epsom; ensuite dans les eaux mères des salines de Friedrichshall et de Kissingen, d'où on l'obtient principalement.

Le *carbonate de magnésie*, $MgO.CO_2$, constitue en combinaison avec le carbonate de chaux la *dolomie*, roche qui se rencontre en masses assez volumineuses. On l'obtient à l'état le plus pur en décomposant une dissolution chaude de sulfate de magnésie par du carbonate de soude. Séché,

il représente des masses légères, poreuses, d'un blanc éclatant, qui sont insolubles dans l'eau et par conséquent insipides. Par la calcination, cette combinaison perd son acide carbonique et devient de l'oxyde pur, MgO , qui, sous le nom de *magnésie calcinée*, est particulièrement administré dans le but de fixer une partie de l'acide contenu dans le suc gastrique, lorsqu'il s'en trouve en trop grande abondance. On l'emploie encore comme antidote dans les empoisonnements par l'arsenic.

Le *phosphate de magnésie* entre dans la composition des graines des céréales, de la substance osseuse, de l'urine et des calculs urinaires.

En combinaison avec l'*acide silicique*, la magnésie forme de nombreux minéraux tels que le *talc*, la *magnésite* ou *écume de mer*, la *serpentine*, etc.

20. ALUMINIUM.

Al = 15; densité 2,56, découvert en 1827.

93. Ce métal constitue une partie très-considérable de la croûte terrestre, car son oxyde forme avec l'acide silicique et la chaux la plupart des minéraux. On obtient l'aluminium en décomposant le chlorure d'aluminium par le sodium. On l'extrait encore de la même manière de la *cryolythe*, minéral composé de fluorure d'aluminium et de fluorure de sodium. Il ressemble beaucoup à l'argent sous le rapport de la plupart de ses propriétés; comme celui-ci, il se travaille facilement et ne s'oxyde par l'échauffement ni à l'air ni dans l'eau. Comme l'aluminium réunit tout à la fois de la légèreté, de la solidité et l'éclat argentin, il trouvera une application précieuse pour différents usages industriels.

94. L'*oxyde d'aluminium*, Al_2O_3 , nommé encore *alumine* ou terre d'alun, se rencontre dans le règne minéral, comme beaucoup d'autres corps, sous des formes très-diverses. A l'état cristallisé, on trouve l'alumine dans les mêmes conditions que le diamant; car le saphir et le rubis rouge, qui se distinguent par leur dureté, leur éclat et leur infusibilité, sont de l'alumine pure, et rangés parmi les pierres les plus précieuses. Le *corindon* et l'*émeri* sont composés d'alumine amorphe, de couleur foncée, et jouissent d'une dureté extraordinaire: aussi s'en sert-on utilement pour polir les glaces et le verre.

Par voie chimique on se procure de l'alumine pure sous forme d'hydrate, en la précipitant d'une solution d'alun par de l'ammoniaque liquide (V. plus bas). Le précipité gélatineux ainsi obtenu est lavé et séché, et forme alors une masse blanche, insoluble et infusible qui happe fortement à la langue.

L'alumine se fait remarquer par sa grande affinité pour la fibre végétale et pour les matières colorantes. Lorsqu'on place des tissus de coton

dans une solution d'où l'alumine se précipite, celle-ci se réunit intimement avec la fibre. Lorsqu'on place ensuite le tissu ainsi imprégné d'alumine dans une solution colorante, l'alumine fixe une partie de cette matière colorante sur la fibre et le tissu est coloré d'une manière durable. C'est ainsi que l'alumine constitue une des matières les plus importantes dans la teinturerie. Les précipités insolubles que forme l'alumine avec les solutions des matières colorantes végétales se nomment *laques*.

L'alun est un sel double de sulfate d'alumine et de sulfite de potasse, $Al^2O^3.3SO^3 + KO.SO^3 + 24HO$, qui se trouve tout formé dans la nature, mais qui est le plus souvent un produit de fabrique. Il a une saveur douce et astringente, cristallise en grands octaèdres incolores (fig. 30).

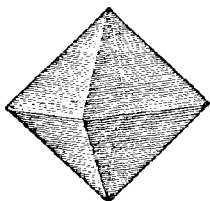
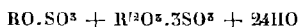


Fig. 30.

Il est soluble dans l'eau; on l'emploie en quantités considérables dans la teinturerie et dans la fabrication du papier, ainsi que pour préparer d'autres combinaisons d'alumine, notamment l'acétate d'alumine,

Il existe une série intéressante de combinaisons tant naturelles qu'artificielles où la potasse de l'alun est remplacée par une autre base, sans que la forme cristalline du sel subisse la moindre modification. D'un autre côté, on connaît une série de sels dont la composition et la forme cristalline correspondent parfaitement à celles de l'alun, mais où l'alumine est remplacée par les sesqui-oxydes de fer, de manganèse ou de chrome. C'est ainsi que se trouve formée la famille des *aluns*, dont la composition s'exprime par la formule générale suivante :



ainsi qu'il ressort des exemples suivants :

Alun potassique,.....	=	$KO.SO^3 + Al^2O^3.3SO^3 + 24 HO$
Alun sodique	=	$NaO.SO^3 + Al^2O^3.3SO^3 + 24 HO$
Alun ammoniacal	=	$NH^3O.SO^3 + Al^2O^3.3SO^3 + 24 HO$
Alun ferri-potassique....	=	$KO.SO^3 + Fe^2O^3.3SO^3 + 24 HO$
Alun mangani-potassique =		$KO.SO^3 + Mn^2O^3.3SO^3 + 24 HO$
Alun chromi-potassique.. =		$KO.SO^3 + Cr^2O^3.3SO^3 + 24 HO$

Ce qu'il y a de remarquable, c'est que lorsqu'on mélange des dissolutions de plusieurs de ces sels, on obtient par l'évaporation des cristaux octaédres qui sont un mélange de divers aluns. On suppose par conséquent que dans tous les aluns les plus petits atomes de leurs éléments se ressemblent tellement par leur grandeur et leur arrangement, que dans la formation d'un cristal ils ne se dérangent nullement, et peuvent même se

substituer les uns aux autres. Cette identité dans la forme et l'arrangement de matières et de combinaisons diverses se nomme *isomorphisme*, et les aluns sont *isomorphes* entre eux.

96. Silicate d'alumine. Les combinaisons et mélanges de l'alumine et de l'acide silicique jouent un rôle important dans l'économie de la nature, ainsi que dans l'économie animale. Un grand nombre de minéraux solides se composent de silicate d'alumine et se trouvent décrits dans la partie minéralogique de cet ouvrage. Comme exemple, nous citerons un des minéraux les plus répandus, le *feldspath*, qui est un sel double formé de silicate de potasse et de silicate d'alumine, $KO.SiO^2 + Al^2O^3.3SiO^2$. De la désagrégation de minéraux semblables résulte cette terre plastique qu'on nomme *argile*. Celle-ci est donc du silicate d'alumine, mêlé à plus ou moins de *silice* (sable) et d'oxydes métalliques, d'où lui sont venus différentes couleurs et divers noms, comme par exemple la *terre de pipe*, la *terre à foulon*, la *terre à porcelaine* ou *kaolin*, l'*argile grise*, les *ocres jaunes, bruns et rouges*. Toutes ces argiles ont cela de commun qu'elles happent plus ou moins fortement à la langue, et qu'elles possèdent une odeur particulière, dite d'argile. Cette odeur provient probablement de ce qu'elles absorbent toujours un peu d'ammoniaque de l'air.

L'argile forme avec l'eau une masse molle, liante, qui se pétrit facilement et qui retient l'eau avec une force extraordinaire. Cette propriété lui donne une haute valeur pour l'agriculture ; car elle assure au sol l'humidité nécessaire à la croissance des plantes. Un mélange d'argile, de sable et de calcaire se nomme *marne* : c'est le terrain le plus fertile.

La plasticité de l'argile humide l'a fait employer depuis les temps les plus anciens à la confection de poteries diverses ; car lorsque la masse argileuse molle est chauffée, elle se durcit et devient une masse résistante. C'est de la pureté et de la finesse de l'argile que dépend le nom qu'on donne à la matière fabriquée.

97. La porcelaine, que les Chinois connaissaient depuis bien longtemps, n'a été découverte en Allemagne qu'en l'année 1703 par Böttcher, chimiste, auquel le prince électoral de Saxe Joachim avait ordonné de faire de l'or à tout prix. Là tout fut essayé, mélangé, fondu ensemble, jusqu'à ce qu'enfin apparut cette belle masse blanche qu'on nomme porcelaine et qui fut une véritable mine d'or pour Meissen, où on construisit en 1710 la première fabrique de porcelaine.

Une *argile exempte de fer*, nommée *terre à porcelaine*, telle qu'on la trouve en divers endroits, constitue la matière première essentielle pour la fabrication de la porcelaine. On réduit cette terre en poudre très-fine et on y mêle quelquefois intimement de la silice pure ou un peu de plâtre.

Puis on fait une pâte dont on façonne les objets, soit à la main sur le tour, soit à l'aide de moules sur lesquels on applique, au moyen d'éponges humides, de minces tranches de pâte. Lorsque les objets ont séché lente-



Fig. 51.

ment à l'air; on leur donne la première cuisson dite : le *dégourdi*. Pour que les objets ne puissent pas se salir, on les place dans des cassettes en terre (fig. 51), et on les amène dans une partie moins échauffée du *four à porcelaine* (fig. 52). Après cela ils sont durs et parfaitement blancs, mais leur aspect est terne, terreux, et comme la matière absorbe encore l'eau avec avidité, elle happe fortement à

la langue. Il faut alors donner le vernis à la porcelaine. A cet effet, on la trempe dans un liquide qui contient de la pâte de porcelaine réduite en

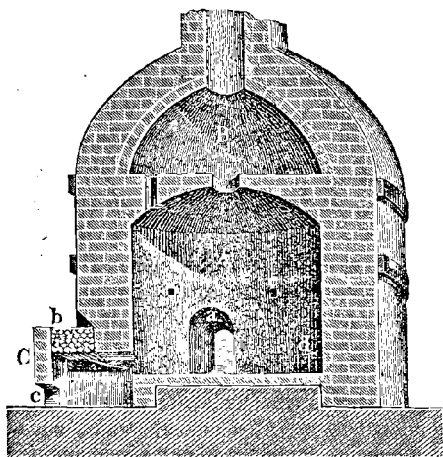


Fig. 52.

poudre très-fine et qu'on a rendue plus facilement fusible au feu par l'addition de plâtre. Muni de cet enduit, l'objet est cuit une seconde fois et cela au plus fort feu, c'est-à-dire à la chaleur blanche.

La porcelaine parfaite est toute blanche, très dure, faisant feu au briquet; sa cassure est brillante, écailleuse et demi-transparente. Des vases minces de cette porcelaine donnent un son pur et clair, à peu près comme du métal. La porcelaine contient environ 60 à 70 p. c. d'acide

silicique, 20 à 30 p. c. d'alumine et 3 à 6 p. c. d'alcali. La porcelaine anglaise contient moins d'acide silicique, à peu près 40 p. c.; par contre, environ 50 p. c. de chaux avec 20 à 25 p. c. d'alumine.

Pour *peindre* la porcelaine, on se sert de verre coloré réduit en poudre très fine et délayé dans de l'essence de térébenthine; on l'applique avec un pinceau sur le vase déjà vernissé, et puis on le soumet à une chaleur moins forte, dans des fourneaux à moules (fig. 53).

La *faïence* de bonne qualité a une cassure terreuse, mais blanche; son vernis se compose ordinairement d'un verre de plomb facilement fusible. La faïence de qualité inférieure a une cassure grise, jaune ou rouge, et le vernis blanc se compose de verre de plomb avec addition d'oxyde d'étain.

Les objets en poterie ou les vases de terre se fabriquent avec de l'argile plus grossière. Quelquefois on ne leur donne pas de vernis, comme les

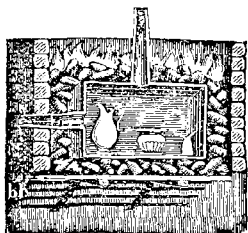


Fig. 53.

pots de fleurs, par exemple, ou bien on les enduit d'un vernis de verre de plomb. Ici il arrive parfois que l'oxyde de plomb destiné au vernissage n'est pas complètement vitrifié, parce qu'on veut épargner du combustible : de tels vases pourraient empoisonner des mets. C'est pourquoi on doit toujours choisir des poteries fortement cuites, d'un sou clair et avec un vernis bien brillant.

La poterie de grès, qu'on emploie surtout pour cruchons d'eaux minérales, pour pots à provision, etc., est vernissé au moyen du sel de cuisine (chlorure de sodium), qu'on jette dans le four tout rouge rempli des objets en poterie. Ce sel s'évapore, recouvre la poterie à l'intérieur et à l'extérieur, en formant un enduit de verre de soude facilement fusible.

Il serait injuste de ne pas faire mention des *pipes de terre*, auxquelles en Allemagne la ville de Cologne principalement donne leur fragile existence. Il nous semble superflu d'entrer dans des détails sur les tuiles et les briques, dont la coloration rouge vif est due à de l'oxyde de fer.

98. En broyant un minéral assez rare, la *lazulite*, on obtient une couleur précieuse, d'un bleu magnifique, nommée *outremer*. L'analyse chimique démontra que ce minéral était composé de sulfure de sodium et de silicate d'alumine, et on parvint à préparer artificiellement cette couleur superbe, en faisant fondre ensemble ces matières dans les proportions voulues. De cette manière, le prix de l'*outremer* a tellement baissé, que tandis qu'on le payait autrefois presque au poids de l'or, on s'en sert aujourd'hui pour badigeonner et pour la fabrication de papiers peints, etc. La fabrication de l'*outremer* se fait de la manière suivante : On prend 100 parties d'argile à porcelaine, 100 parties de sel de Glauber calciné et 17 parties de charbon ; après avoir réduit ces matières en poudre très-fine, on les mélange et on les calcine. La masse obtenue, après avoir été broyée et lavée, est verte et arrive dans le commerce sous le nom d'*outremer vert*. Mais si on chauffe encore une fois celui-ci, en y ajoutant 4 p. c. de soufre, on en obtient l'*outremer bleu*.

En 1820, une livre de véritable outremer coûtait 1,200 francs ; en 1828 une livre d'*outremer* artificiel coûtait 280 francs ; en 1852 16 francs, et aujourd'hui de 1 à 2 francs.

b) MÉTAUX PESANTS.

21. FER.

Ferrum; Fe = 28; densité = 7,6.

99. Nous ouvrons la série des métaux pesants par le fer, le plus important et le plus précieux de tous les métaux; c'est avec lui que nous construisons la charrue qui laboure le sol, et l'épée qui le défend. L'histoire nous montre des peuples qui possédaient de l'or en surabondance et qui sont devenus pauvres, et d'autres qui, en possession du fer, se sont créés la véritable source de la richesse, savoir l'activité industrielle.

Nous décrirons dans la partie minéralogique les divers minerais qu'on emploie pour en extraire le fer. Ces minerais se trouvent en abondance en

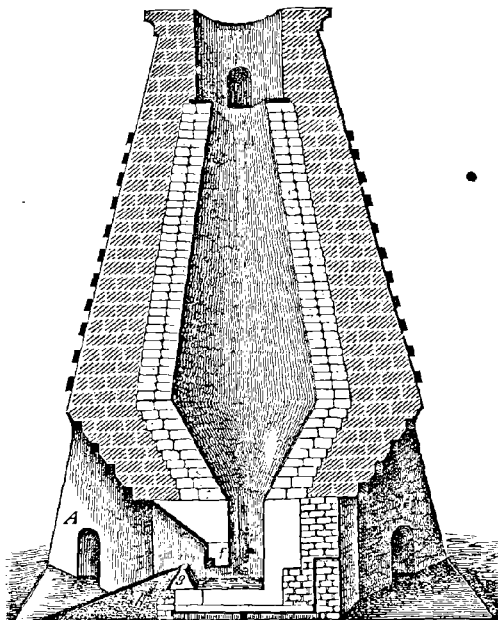


Fig. 54.

Allemagne, en Belgique, en Angleterre et surtout en Suède. Les éléments essentiels de tous ces minerais sont le fer et

- l'oxygène : ce sont des *oxydes* auxquels il s'agit d'enlever l'oxygène. A cet effet, on casse en petits morceaux les minerais extraits des mines et on les jette mélangés avec du charbon de bois ou de la houille dans le haut fourneau (fig. 54). La partie inférieure de celui-ci a été remplie au commencement de l'exploitation par du bois et du charbon, qui ont été allumés et

qu'on maintient dans la plus forte incandescence en y insufflant d'une manière vigoureuse et continue de l'air échauffé. Par la combustion du

charbon dans la partie inférieure du four, il se forme du gaz oxyde de carbone et de l'hydrogène carboné; ceux-ci arrivant en contact avec les minerais incandescents, leur enlèvent l'oxygène. Le fer qui devient libre se fond et coule vers la partie inférieure du fourneau, d'où on le soutire de temps en temps. Quand de cette manière la couche inférieure de minerai est fondue, une couche supérieure descend; et comme on ajoute constamment par l'ouverture supérieure de nouvelles quantités de minerais mélangés avec du charbon, l'exploitation continue ainsi pendant des années sans interruption jusqu'à ce qu'un jour le feu continuel ait endommagé la maçonnerie et nécessité des réparations ou une reconstruction.

Mais le fer n'est pas le seul produit du haut fourneau. La grande majorité des minerais de fer contiennent en mélange de la silice, de l'alumine et de la chaux, qui, sous l'influence de la chaleur nécessaire pour obtenir le fer, se fondent en un verre foncé, nommé la *scorie*, qui s'écoule également vers le bas avec le fer. Mais comme elle est moins dense que le fer, elle surnage, et on l'enlève de temps en temps avec des crochets, car elle se solidifie en masse vitrée. En recouvrant de cette manière le fer fondu, elle préserve celui-ci du contact de l'air, qui oxyderait de nouveau beaucoup de fer. La production de la scorie est donc une condition nécessaire dans les opérations du haut fourneau, et lorsque les minerais ne contiennent pas les éléments nécessaires à la formation de la scorie, on ajoute des minéraux appropriés, surtout de la chaux, qui forme toujours une scorie facilement fusible. L'air qui s'échappe de l'ouverture supérieure du fourneau, nommée le *gueulard*, contient toujours, outre l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène carboné. Il est par conséquent combustible et forme la flamme dite de *gueulard*, qu'on emploie pour échauffer l'air qui alimente les machines soufflantes

100. Espèces de fer. Le carbone possède la propriété non-seulement de se combiner chimiquement avec le fer, mais encore de s'y dissoudre, et, selon le rapport dans lequel il entre avec le fer, il se produit trois sortes principales de fer : 1° du fer très carboné, le *fer cru* ou *fonte*; 2° du fer exempt de carbone, le *fer à forger*, fer en *barre*, fer pur; 3° le fer légèrement carboné, ou l'*acier*.

1. Le *fer cru*, ou fonte, est le fer tel qu'il s'écoule directement du haut fourneau. Cent livres de ce fer contiennent 4 ou 5 livres de carbone. Le carbone peut être totalement combiné avec la fonte: alors le fer est blanc, brillant, dit *fonte blanche*, qui se fond facilement, mais se solidifie irrégulièrement en une masse dure et cassante, qui n'est bonne ni pour la fonderie ni pour la forge, mais qui sert à obtenir les autres sortes de fer. Le carbone peut aussi n'être qu'en mélange partiel avec le fer sous forme de petites écailles de graphite et communiquer au fer une couleur grise

ou gris-noir, comme dans le fer de fonte ordinaire, dite *fonte grise*. Celui-ci se fond à une température de 1000° en une masse liquide, propre à remplir tous les moules formés de sable, car en se refroidissant il ne se contracte que de $1 \frac{1}{4}$ p. c. On l'emploie pour cette raison à des ouvrages de toute espèce, notamment pour des poêles, des foyers, et aussi pour des objets d'art. Comme ce fer a une cassure granuleuse, dure et fragile, il ne peut pas être forgé; mais on peut le limer, le forer et le tourner.

2. Le *fer en barre*, ou *fer à forger*, est du fer presque pur. On l'obtient au moyen de la fonte qu'on grille au contact de l'air. Alors le carbone qui y est contenu brûle au point que le fer en barre n'en contient presque plus de traces. Sa qualité la plus essentielle est sa grande ténacité, qui le rend particulièrement propre à être forgé, étiré et laminé. Sa cassure est grise et grenue, mais sa surface peut être polie et prend alors une couleur blanche. Comme sa dureté n'est pas très-grande, il convient peu pour en faire des outils tranchants. Le fer en barre ne fond qu'à la chaleur blanche la plus ardente, à environ 1600°. Des morceaux de ce fer ne peuvent donc pas être réunis par la fusion; mais en les soumettant au rouge blanc, ils se ramollissent et peuvent être réunis très-intimement au moyen du marteau; on nomme cette opération la *soudure*.

3. L'*acier* contient 1 à 2 p. c. de carbone. On le prépare soit avec la fonte, à laquelle on n'enlève qu'une partie de son carbone, soit avec le fer en barre, auquel on ajoute de nouveau du charbon. L'acier obtenu par le premier de ces deux procédés se nomme l'*acier cru*. Pour préparer l'acier avec le fer en barre, on en prend de minces baguettes, qu'on entoure dans des caisses en terre de poudre de charbon, et qu'on soumet à l'action de la chaleur. Le charbon pénètre insensiblement dans le fer et le transforme en ce qu'on nomme l'*acier cémenté*. Lorsqu'on traite de plus grandes masses de fer de la même manière, elles reçoivent tout bonnement un enduit d'acier et ne sont que cémentées. Ces deux espèces d'acier ne sont jamais homogènes dans toutes les parties de leur substance; c'est pourquoi on en soude plusieurs morceaux ensemble, on les étend de nouveau, et on les bat (on nomme ces opérations l'*affinage* de l'acier, ou le *corroyage*), ou bien encore on obtient l'homogénéité par la fusion, qui livre l'*acier fondu*. Ce dernier se prépare encore en faisant fondre de la fonte et du fer à forger dans des proportions convenables.

L'acier nous offre un des exemples les plus frappants du changement qu'un arrangement différent des atomes amène dans les propriétés d'un corps.

De lui-même l'acier possède les propriétés du fer en barre. Il est mou, très malléable, mais plus fusible que ce dernier, car il fond de 1200 à 1400°. Sa couleur est également grise ou d'un gris blanchâtre, mais il

prend un poli extrêmement beau qui lui donne un vif éclat. Mais si l'on refroidit subitement l'acier chauffé au rouge, en le plongeant dans l'eau, ce qu'on nomme *tremper*, toute la nature de l'acier est pour ainsi dire transformée; car il devient alors cassant au plus haut degré, par conséquent il n'est plus malléable, mais il est alors plus dur qu'aucun autre corps, à l'exception du diamant et de l'alumine cristallisée. Il entame le verre avec facilité. C'est pourquoi on fabrique avec l'acier trempé tous les outils qui exigent une grande dureté, tels que les limes, les forets, les aiguilles, etc.

Lorsqu'on chauffe l'acier trempé et qu'on le laisse refroidir lentement, il perd ses propriétés et reprend celles de l'acier cru, savoir, de la mollesse et de la ténacité. Cette transformation est d'autant plus parfaite que l'acier a été chauffé plus fortement. On peut de cette manière, au moyen de degrés de chaleur convenables, obtenir des degrés intermédiaires où l'acier conserve, à côté d'une grande dureté, une certaine souplesse, qualités qu'il doit absolument posséder pour la plupart de ses usages, surtout pour la confection d'outils tranchants.

Lorsque l'acier poli est chauffé, il change de couleur et prend successivement les couleurs suivantes : jaune-paille, jaune foncé, orange, rouge, rouge foncé, violet, bleu et enfin bleu noir, les couleurs plus foncées correspondant toujours à des degrés de chaleur plus élevés. Cette coloration de l'acier fournit un excellent moyen pour déterminer la température à laquelle il doit être exposé pour convenir le mieux à certains usages. Cette série de couleurs s'aperçoit distinctement, lorsqu'on tient une aiguille à tricoter contre le bord d'une flamme de bougie : le noir commence à la place la plus chaude; les autres couleurs apparaissent successivement vers les places moins chauffées.

Pour la plupart des ouvrages en acier, les objets sont d'abord forgés avec de l'acier cru, on les trempe ensuite, puis on les recuit jusqu'à des températures déterminées; ainsi les couteaux les plus fins jusqu'au jaune-paille; les rasoirs et les canifs jusqu'au jaune doré; les ciseaux, les haches, les ciseaux de menuisier, les couteaux ordinaires au rouge-pourpre et au brun, les lames de fleuret, les ressorts de montre, les vilebrequins, au bleu clair, et enfin les lames de scie au bleu foncé.

201. Combinaisons du fer. Les combinaisons solubles du fer ont une saveur métallique particulière, sucrée, astringente; en contact avec les corps contenant du tannin, tels qu'une décoction de noix de galle ou d'écorce de chêne, elles forment une combinaison d'un bleu noir (encre). Dans la plupart de ses combinaisons, le fer a un effet thérapeutique bien caractérisé, notamment sur le sang. Nous les décrirons dans l'ordre suivant lequel on les obtient l'une de l'autre.

Le *bisulfure de fer*, FeS^2 , minéral nommé *pyrite de fer*, qui se rencontre fréquemment, est d'une couleur jaune de laiton, d'un éclat métallique et cristallisé. On s'en sert pour extraire le soufre en le soumettant à la distillation; il reste alors du *monosulfure de fer*. En chauffant le bisulfure de fer à l'air, ainsi que par l'efflorescence, il se transforme en *sulfate de fer* $FeO.SO^3$. Le *monosulfure de fer*, FeS , est souvent employé pour préparer l'hydrogène sulfuré (§ 43). On l'obtient en chauffant doucement un mélange de soufre et de fer.

Le *sulfate de protoxyde de fer*, $FeO.SO^3 + 7HO$, nommé encore *vitriol vert* ou *couperose verte*, s'obtient en beaux cristaux verts par l'oxydation du sulfure de fer naturel. C'est un des sels les moins chers, et il trouve des applications importantes pour la préparation des autres composés ferriques, notamment du bleu de Prusse, de l'encre, des couleurs violette et noire pour tissus, ainsi que de l'acide sulfurique de Nordhausen. On verse aussi une dissolution de ce sel dans les lieux d'aisance, pour détruire la mauvaise odeur.

L'*oxydule de fer*, FeO , n'est pas connu à l'état isolé. A l'état hydraté, on l'obtient en précipitant une solution de sulfate d'oxydule par de la potasse. Il est blanc, mais se colore instantanément en vert, en jaune et finalement en brun; car il se transforme en oxyde de fer hydraté.

L'*oxyde de fer*, Fe^2O^3 , se rencontre fréquemment dans la nature (fer oligiste), et on l'obtient comme résidu dans la préparation de l'acide sulfurique fumant. En poudre, il est d'un rouge-brique foncé, et s'emploie comme couleur et pour polir sous le nom de *rouge anglais*. C'est lui qui donne à l'ocre rouge, à la craie rouge, à la mollasse rouge, etc., leur couleur.

L'*hydrate d'oxyde de fer*, $Fe^2O^3.HO$, se rencontre fréquemment dans la nature sous forme de *limonite*. Il est jaune ou brun et communique à beaucoup de minéraux une couleur correspondante. On l'obtient en précipitant une solution de sesqui-chlorure de fer par de l'ammoniaque. On l'emploie en médecine, principalement comme antidote de l'arsenic (§ 51); il se produit en outre sous forme de rouille, quand du fer reste exposé à l'air humide. Par la chaleur il perd son eau d'hydratation et laisse de l'oxyde de fer.

Le *carbonate d'oxydule de fer*, $FeO.CO^2$, constitue sous le nom de *fer spatique* un des minerais de fer les plus importants; on l'obtient en décomposant une solution de vitriol vert par du carbonate de soude; le précipité qui en résulte est blanc, mais se colore rapidement en vert et en brun; car il absorbe l'oxygène et se transforme en partie en oxyde. Quoique insoluble dans l'eau, le carbonate d'oxydule de fer peut cependant être dissous par l'eau des sources contenant de l'acide carbonique. Ces sources se nomment *eaux ferrugineuses*.

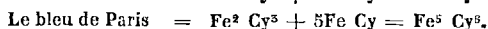
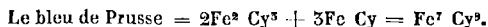
Le *monochlorure de fer*, $FeCl$, nommé encore *chlorure de fer*, se produit lorsqu'on dissout du fer dans l'acide chlorhydrique. Il se dépose de la solution concentrée sous forme de cristaux vert bleu pâle, qui contiennent de l'eau.

Le *sesqui-chlorure de fer* ou *chloride ferrique*, $Fe^2. Cl^3$, s'obtient en cristaux rouge brun, renfermant de l'eau, par l'évaporation d'une solution de fer dans l'eau régale (§ 43). Ce composé est employé en médecine.

Le *cyanure double de fer et de potassium*, ou *cyano-ferrure de potassium*, ou *ferro-cyanure de potassium*, $FeCy + 2KCy + 3HO$, est un sel de fer particulièrement remarquable. Il se produit lorsqu'on calcine du carbonate de potasse avec du charbon riche en azote et de la limaille de fer. Dans le principe, on carbonisait à cette fin du sang séché, maintenant on emploie principalement du vieux cuir, des poils, de la laine, etc. La masse fondue est ensuite bouillie avec de l'eau, et la solution qui en résulte, livre après clarification et refroidissement le cyanure de potassium et de fer en magnifiques cristaux jaunes. Il n'est pas vénéneux, mais on s'en sert pour préparer l'*acide cyanhydrique* (V. § 65), ainsi que les autres composés de cyanogène. Sa solution donne avec les sels d'*oxydure de fer* un précipité *blanchâtre* qui est du cyanure de fer simple, mais ce précipité prend rapidement une couleur bleue qui se fonce insensiblement; avec les sels d'*oxyde de fer*, il forme immédiatement un précipité d'un *bleu foncé*, le *bleu de Prusse*.

Le *prussiate de potasse rouge*, $Fe^2Cy^3 + 3KCy + HO$, ou *cyano-ferride de potassium*, s'obtient en cristaux hyacinthes, lorsque à une solution de 2 équiv. de prussiate jaune de potasse, on enlève au moyen d'un courant de chlore 1 équiv. de potassium. Ce sel forme avec les sels d'*oxydure de fer* un précipité bleu très-foncé, le *bleu de Paris*; avec les sels d'*oxyde de fer*, il ne se forme pas de précipité.

Le *bleu de Prusse* et le *bleu de Paris* sont deux couleurs magnifiques, très souvent employées dans la peinture; ils ne sont pas vénéneux; ce sont des combinaisons de cyanure de fer simple avec du sesqui-cyanure de fer ou du cyanide de fer :



92. MANGANÈSE.

Mn = 27; densité = 8.

102. Le manganèse est, après le fer, le métal pesant le plus répandu, bien qu'il ne se rencontre que rarement en masses considérables. Il n'y a guère de minerais de fer qui ne renferment du manganèse; aussi le fer

en contient-il le plus souvent jusqu'à 4 et 6 p. c. Le manganèse est extrêmement difficile à fondre; il est dur et cassant; sa cassure est grise comme celle de la fonte de fer, avec un reflet rougeâtre. Comme il s'oxyde à l'air et dans l'eau en décomposant celle-ci, il ne reçoit pas d'application industrielle.

103. Le *peroxyde de manganèse*, MnO^2 , se nomme vulgairement *pyrolusite*; il fait sur le papier une marque gris noir. La facilité avec laquelle ce peroxyde abandonne de l'oxygène le rend propre à servir de moyen d'oxydation. On s'en sert pour préparer l'oxygène (§ 26), pour décolorer le verre et pour préparer le chlore (§ 44), et il devient de cette manière un corps très important pour le chimiste.

La pyrolusite est fréquemment accompagnée d'oxyde de manganèse, Mn^2O^3 , nommé *braunite*, et mélangé avec l'hydrate de celui-ci, nommé *manganite*, qui donne sur le papier une raie brune.

L'*oxydule de manganèse*, MnO , s'emploie pour communiquer aux fontes de verre une coloration violette; ses sels sont blancs ou rosés.

Lorsqu'on chauffe pendant un temps assez long du peroxyde de manganèse avec de la potasse caustique, une partie de la masse obtenue se dissout dans l'eau avec une très belle couleur verte: c'est du *manganate de potasse*, $KO.MnO^5$. Lorsque cette dissolution est un peu étendue, sa couleur passe insensiblement à l'air au rouge-pourpre, parce que le liquide contient maintenant de l'*hypermanganate de potasse*, $KO.Mn^2O^7$. Mais celui-ci se décompose également peu à peu, et le liquide est finalement incolore. Cette circonstance a fait donner à cette solution verte le nom de *caméléon minéral*.

23, CHROME.

Cr = 26; densité = 6,8

104. Ce métal, découvert en 1797, est généralement beaucoup moins connu que les précédents, quoiqu'il soit un des plus intéressants. Presque tous ses composés possèdent une couleur magnifique; c'est pourquoi on lui a donné le nom de *chrome*, nom grec qui signifie couleur. Il est très difficilement fusible, ressemble au fer, est dur, et n'a pas d'application industrielle.

Le chrome se trouve dans un minéral nommé *fer chromé* qui se compose d'oxydule de fer et d'oxyde de chrome, $FeO.Cr^2O^3$. En calcinant ce minéral avec de la potasse caustique, il se forme de l'*acide chromique*, $Cr O^3$, qui se combine avec la potasse en formant du *bichromate de potasse*, $KO.2CrO^3$, sel rouge, soluble dans l'eau et qui sert à la préparation de toutes les autres combinaisons de chrome. Traité avec une quantité suffisante de potasse, il se transforme en *chromate neutre de*

potasse, $KO.CrO^5$, dont les cristaux sont d'un jaune clair. Les combinaisons solubles du chrome sont vomitives et vénéneuses.

L'*oxyde de chrome*, Cr^2O^5 , s'obtient sous forme de belle poudre verte lorsqu'on enlève de l'oxygène à l'acide chromique, par exemple en chauffant une dissolution de chromate de potasse et de sulfure de potassium. Il y a différents procédés de préparation qui le livrent d'un vert plus ou moins beau. Il sert de couleur, surtout dans la peinture sur verre et sur porcelaine.

L'*acide chromique*, CrO^5 , se sépare sous forme d'aiguilles cristallisées rouges, lorsqu'on traite par l'acide sulfurique une solution concentrée de bichromate de potasse. L'acide chromique est un oxydant excellent, et sert fréquemment à cet usage, soit par lui-même, soit par ses sels.

Le *sesqui-chlorure de chrome*, Cr^2Cl^5 , est une combinaison cristallisant en paillettes fleur de pêcher ou violettes. Il n'a pas d'applications.

L'*alun de chrome* est un sel double de sulfate de chrome et de sulfate de potasse, $KO.SO^5 + Cr^2O^5, 5SO^5 + 24HO$; il forme des cristaux magnifiques d'un rouge grenat; il est sans applications.

Par contre, le *chromate de plomb*, $PbO.CrO^5$, constitue une couleur fréquemment employée. On l'obtient en mélangeant une solution d'un sel de plomb avec du chromate de potasse.

Le *chromate de mercure* possède une belle couleur rouge cinabre, dont on ne fait pourtant pas usage.

24. COBALT.

Co = 50; densité = 8,5.

105. Dans presque tous les minerais qui contiennent le cobalt, on le trouve uni à l'arsenic ou au soufre, ou bien aux deux en même temps. L'extraction de ce métal est très difficile parce qu'il est toujours accompagné d'autres métaux, surtout du fer et du nickel, et que ce dernier possède des propriétés chimiques qui ont la plus grande analogie avec le cobalt. On se débarrasse du soufre et de l'arsenic par le grillage; on dissout le résidu dans l'acide chlorhydrique, on y ajoute du chlorure de chaux et on précipite par l'eau de chaux successivement le fer, le cobalt et le nickel, sous forme d'oxydes hydratés, qu'on réduit ensuite au moyen du charbon.

Le cobalt est d'un gris d'acier, susceptible de prendre un beau poli; il est dur et malléable, il ne fond qu'au feu le plus fort. Il n'a pas d'application dans l'industrie; il est attiré par l'aimant.

L'*oxydule de cobalt*, fondu avec du verre, lui communique une couleur bleue très foncée. Le verre de cobalt ainsi préparé donne, lors-

qu'il est réduit en poudre fine, une couleur bleu clair, connue sous le nom de *smalt* ou *bleu d'azur*.

Les *sels d'oxydure de cobalt* ont une couleur rose, qui change en bleu par la chaleur; c'est sur cette propriété que se fonde la préparation d'une *encre sympathique* au moyen d'une dissolution étendue de chlorure de cobalt. Lorsqu'on écrit avec cette encre, l'écriture est invisible sur le papier; mais dès qu'on chauffe celui-ci, l'écriture apparaît en bleu; si l'on ajoute à la solution de cobalt une goutte de chlorure de fer, l'écriture apparaît avec une belle couleur verte.

25. NICKEL.

Ni = 29,0; densité = 8,8.

106. En ce qui concerne les minerais de nickel, ainsi que ses procédés d'extraction, nous renvoyons au paragraphe qui précède. Le nickel métallique se trouve dans le commerce sous forme de petits cubes de couleur gris blanc; il est dur, très malléable, susceptible de prendre le poli, et résiste à l'air. Il est attirable à l'aimant. Ses sels sont verts. — Il sert principalement à la fabrication de l'*argent neuf*, ou *argentan*, ou *maillechort* (§ 112), qui ressemble beaucoup à l'argent. En Belgique, le nickel sert depuis quelque temps à la fabrication de monnaies.

26. ZINC.

Zn = 32,5; densité = 7,0; degré de fusion = 500° C.

107. Le zinc est un métal blanc, cassant, que l'on obtient principalement d'un minéral nommé *calamine* et composé de *silicate de zinc*. Ce métal est beaucoup employé tant pour ouvrages de fonte qu'à l'état laminé pour couvertures de toit, etc. Il entre encore dans la composition du *laiton* et de l'*argent neuf*. Les chimistes l'emploient principalement pour préparer l'hydrogène. A une température élevée, le zinc est tellement volatil qu'on peut le distiller; chauffé à l'air, il brûle avec une vive flamme et se transforme en oxyde de zinc.

Les composés du zinc exercent, pris à l'intérieur, une action vomitive et toxique; à l'extérieur, par contre, quelques-uns d'entre eux sont très estimés contre certaines affections des yeux; tels sont l'*oxyde de zinc*, ZnO , et le *sulfate de zinc* ou *vitriol blanc*, $ZnO.SO^3$. L'oxyde est employé comme couleur sous le nom de *blanc de zinc*, et il a sur le blanc de plomb l'avantage de ne pas être vénéneux et de ne pas noircir par les émanations sulfureuses.

27. ÉTAIN.

Stannum; Sn = 58; densité = 7,3; degré de fusion = 228° C.

108. Après l'argent, l'étain est le plus beau des métaux blancs, et il doit autant à son éclat qu'à son inaltérabilité à l'air un emploi multiple dans la confection des ustensiles de table et de cuisine. On le trouve le plus souvent combiné à l'oxygène dans un minerai appelé *cassitérite*, qui, fondu avec du charbon, livre le métal pur. L'Angleterre, l'Espagne et l'Inde orientale fournissent le meilleur étain; quand on le plie, on entend un bruit particulier, le cri de l'étain, qui provient de sa texture cristalline. Quelquefois l'étain renferme de l'arsenic, d'autres fois il est frauduleusement falsifié avec du plomb; dans l'un et l'autre cas, il est d'un usage dangereux.

On emploie ce métal pour des ouvrages de fonte; on le bat encore en feuilles comme l'argent et on le nomme *faux argent en feuilles*; sous cette forme il est quelquefois même employé comme couleur. L'étain sert surtout à préserver le fer de l'influence destructive de l'air; pour cela on recouvre des tôles de fer avec de l'étain, ce que l'on nomme *étamer*, et on obtient le *fer-blanc*, qui est une matière très précieuse pour mille usages. On étame aussi les vases en cuivre, et on les rend ainsi propres à contenir des mets, car ceux-ci n'attaquent pas l'étain. En parlant du cuivre, nous parlerons de quelques alliages de l'étain; ici nous mentionnerons :

La *soudure des ferblantiers*, composée de 2 parties étain et 1 partie plomb.

L'*alliage métallique facilement fusible*, composé de 8 part. bismuth, 5 part. plomb, 5 part. étain, fond à 100° cent.; l'alliage de 4 p. bismuth, 1 p. plomb et 1 p. étain fond à 94° cent.

Parmi les composés d'étain nous mentionnerons :

L'*oxyde d'étain*, SnO_2 , se trouve dans le règne minéral sous le nom de cassitérite; il se forme encore sous forme de poudre blanche insoluble, lorsqu'on oxyde l'étain au moyen de l'acide nitrique. Les *endres d'étain*, qui se forment lorsqu'on fond l'étain métallique à l'air, et qu'on emploie principalement pour émailler et vernir la faïence, sont un mélange d'oxyde et d'oxyde d'étain.

Le *chlorure d'étain*, SnCl_2 , s'obtient en cristaux incolores lorsqu'on dissout de l'étain dans de l'acide chlorhydrique. Le chlorure d'étain est un désoxydant puissant; aussi est-il fréquemment employé en cette qualité comme mordant dans la teinturerie, où on le nomme *sel d'étain*.

Le *sulfure d'étain* se prépare en faisant chauffer assez longtemps de la grenaille d'étain avec du soufre. C'est un composé jaune doré possédant

l'éclat métallique; il est employé comme couleur d'or sous le nom d'*or mussif*.

28. PLOMB.

Plumbum; Pb = 103; densité = 11,5; degré de fusion = 323°C.

109. On trouve généralement le plomb combiné avec le soufre dans un minerai gris blanc et luisant, nommé *galène*. Lorsqu'on chauffe celui-ci à l'air, le soufre forme de l'acide sulfureux et le plomb se combine avec l'oxygène. Cet oxyde est alors fondu avec du charbon et l'on obtient le plomb métallique.

Chacun connaît ce métal dense, mou, qu'on peut couper au couteau, qu'on aplatit au laminoir, qu'on étire en fils et en tuyaux, et qu'on emploie également pour ouvrages divers de fonte, parmi lesquels le plomb de chasse et les balles ne sont pas les moins importants. On l'emploie encore pour former différents alliages, dont nous avons cité quelques-uns en parlant de l'étain. Le plomb n'a un éclat métallique brillant qu'à la place où il est fraîchement coupé; mais celle-ci devient promptement mate, car elle se recouvre d'une couche de sous-oxyde de plomb. L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique n'attaquent pas le plomb; l'acide nitrique le dissout promptement. L'eau distillée dissout un peu de plomb, tandis que l'eau de source ordinaire, qui contient des sels de chaux, ne se charge pas de plomb lorsqu'elle passe par des conduits de ce métal.

Les combinaisons de plomb sont toutes vénéneuses; elles occasionnent de violentes coliques, dites *coliques de plomb*, contre lesquelles on emploie des eaux minérales contenant de l'hydrogène sulfuré. Des empoisonnements par le plomb arrivent souvent à la suite de l'emploi d'ustensiles d'étain qui renferment du plomb, de poterie mal cuite (§ 97) ainsi que lorsqu'on se sert de feuilles de plomb pour l'emballage, par exemple du tabac à priser.

L'*oxyde de plomb*, PbO , nommé encore *litharge*, se produit quand on chauffe le plomb au contact de l'air, ce qui a lieu principalement quand on extrait l'argent de minerais de plomb argentifères, où l'on obtient la litharge comme produit accessoire. Il est d'un gris jaunâtre, composé de paillettes luisantes. On s'en sert pour préparer les autres combinaisons de plomb, pour la fabrication du verre, du vernis de poterie (§ 97), de vernis ordinaires et d'emplâtres.

Le *minium rouge* est un composé d'*oxyde de plomb* avec le *peroxyde de plomb*, PbO^2 ; il sert comme couleur et pour les mêmes usages que l'oxyde, notamment dans la fabrication du verre.

Le *carbonate de plomb*, $PbO.CO^2$, ou *blanc de plomb* ou *céruse*, est une

des couleurs les plus importantes. On l'obtient de la manière la plus simple, en faisant passer un courant d'acide carbonique à travers une solution d'acétate de plomb. Cette couleur blanche possède à un haut degré la propriété de bien s'étendre sous le pinceau; c'est pourquoi on l'emploie généralement comme base de toutes les autres couleurs. La céruse véritable, nommée encore céruse ou *blanc de Krems*, doit se dissoudre complètement dans l'acide azotique pur étendu, et on peut de cette manière constater sa falsification avec le sulfate de baryte (§ 90).

L'azotate de plomb, $PbO.NO^3$, cristallise en beaux octaèdres ayant l'apparence de porcelaine. Il est soluble dans l'eau. L'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique déterminent dans la solution de l'azotate de plomb des précipités blancs de *sulfate de plomb*, $PbO.SO^3$, ou de *chlorure de plomb*, $PbCl$.

Le sulfure de plomb, $Pb S$, s'obtient sous forme de précipité noir lorsqu'on amène du gaz acide sulphydrique dans une solution de plomb.

29. BISMUTH.

Bismuthum; Bi = 104; densité = 9,8; degré de fusion = 264° C.

110. Ce métal blanc, tirant légèrement sur le rouge, se rencontre le plus souvent à l'état natif; mais il n'est pas abondant. Il n'a pas non plus de qualités très importantes. Nous observerons cependant qu'il a une tendance caractéristique à former des cristaux, lorsqu'il se refroidit lentement. On l'emploie pour faire des alliages de fusion facile (V. Étain), et son oxyde sert en médecine, ainsi que comme *faré blanc*.

50. ANTIMOINE.

Stibium; Sb = 129; densité = 6,7; degré de fusion = 425° C.

111. Nous arrivons ici à un des métaux les plus cassants; car on peut facilement réduire l'antimoine en poudre. Sa couleur est blanche, sa cassure est à grains fins. Il est assez inaltérable à l'air; quand on l'échauffe, il brûle en formant de l'oxyde d'antimoine. Une partie d'antimoine avec 4 parties de plomb fondues ensemble forment un alliage dont on fait les *caractères d'imprimerie*. Le *métal britannique* est un alliage qui contient de 9 à 15 p. c. d'antimoine et le reste d'étain; cet alliage est blanc d'argent, très brillant, et sert à la confection de théières, de médailles, etc.

Les composés d'antimoine sont remarquables à cause de leur effet médicamenteux et appartiennent pour cette raison à la classe des médicaments

les plus importants. En quantité assez grande, ils sont vomitifs et vénéneux ; à dose faible, ils sont sudorifiques. Nous mentionnons sous ce rapport l'oxyde d'antimoine, SbO^3 , et surtout le trisulfure d'antimoine, SbS^3 , qui se rencontre sous le nom d'*antimoine cru*, sous forme d'un minéral noir d'un éclat cristallin, tandis que le pentasulfure d'antimoine, SbS^5 , nommé *soufre doré*, se présente sous forme d'une belle poudre orange (§ 43). Uni à une plus forte quantité d'oxygène, l'antimoine forme l'*acide antimonique*, SbO^5 . L'*hydrogène antimoné*, SbH^3 , a été déjà décrit au § 31.

31. CUIVRE.

Cuprum; Cu = 31,7; densité = 8,8.

112. Ce métal a une belle couleur rouge; il est très tenace et malléable, très dur et ne fond qu'à une température élevée. On le trouve assez souvent à l'état natif; c'est pourquoi les anciens l'ont connu plutôt que le fer, qui est plus difficile à réduire à l'état métallique. Mais on le rencontre plus souvent en combinaison avec l'oxygène sous forme d'oxydure de cuivre ou *minéral de cuivre rouge*, ou combiné avec le soufre sous le nom de *pyrite de cuivre*.

On peut facilement extraire le cuivre des oxydes naturels, en chauffant ceux-ci au contact du charbon avec le concours de scories riches en silice; quant aux pyrites de cuivre, on les transforme d'abord par des grillages répétés en oxyde de cuivre, dit *cuivre noir*, que l'on traite alors de la même manière que l'oxyde naturel.

Le cuivre est employé sous forme de feuilles à la confection d'une quantité d'ustensiles, principalement de chaudières et d'appareils distillatoires; car il a sur le fer-blanc l'avantage de pouvoir être foulé et d'être moins altérable à l'air; on l'étire aussi en fils, et il trouve de nombreuses applications en galvanoplastie. Il forme avec d'autres métaux une série d'alliages servant aux usages les plus divers. Parmi les plus importants nous mentionnerons :

1. Le *laiton*, composé de 71 parties de cuivre et 29 parties de zinc; il est d'un jaune clair, et on l'emploie ordinairement à des ouvrages de fonte;
2. Le *tombac* ou *similor* se compose de 85 parties de cuivre et de 15 parties de zinc; battu en feuilles très-minces, il constitue ce qu'on nomme l'*or en feuilles* impur, qu'on emploie, broyé, comme couleur d'*or faux* et pour bronzer;
3. Le *bronze*, souvent employé dans l'antiquité pour faire des ustensiles et des œuvres d'art de toute espèce, se compose de 85 à 97 p. c. de cuivre et de 3 à 15 p. c. d'étain;
4. Le *bronze à canons* contient 90 parties de cuivre et 10 parties d'étain;
5. Le *métal de cloches* contient 75 à 80 parties de cuivre et 25 à 20 parties d'étain;
6. L'*argent neuf* ou

l'argentan se compose de 2 parties de cuivre, 1 partie de nickel et 1 partie de zinc ; 7. *L'argent monnayé* ou ouvragé, de même que l'or dans les mêmes conditions, sont toujours des alliages de ces métaux avec le cuivre. Nous en reparlerons plus loin.

113. Combinaisons du cuivre. Elles se distinguent par une saveur métallique, nauséuse, qui se fait sentir dès qu'on touche avec la langue un objet de laiton ou de cuivre. A l'intérieur elles agissent comme des *poisons* : c'est pour cette raison qu'on étame les vases en cuivre. Dans les empoisonnements assez fréquents par le cuivre on emploie d'abord les vomitifs, ensuite de grandes quantités d'eau sucrée.

Les couleurs prédominantes des combinaisons du cuivre sont le bleu et le vert. Du fer poli, par exemple, une lame de couteau, plongée dans un liquide cuivreux, se recouvre, au bout de peu de temps, de cuivre métallique.

L'oxyde de cuivre, CuO , se produit sous forme d'une masse noire, quand on grille le cuivre à l'air. On l'emploie dans l'analyse des substances organiques. *L'oxyde de cuivre hydraté*, CuO.HO , constitue un beau précipité bleu, lorsqu'on décompose par la potasse une solution de sulfate de cuivre. Lorsqu'on le chauffe doucement, il perd son eau et se transforme en oxyde noir.

Sulfate de cuivre. CuO.SO_3 , avec 5 équivalents d'eau de cristallisation, se nomme encore *vitriol bleu* ; c'est un des plus beaux sels ; on l'obtient en chauffant du cuivre dans de l'acide sulfurique. Il sert à faire les autres préparations de cuivre, ainsi que dans les imitations galvanoplastiques. On l'emploie aussi pour y tremper le grain de froment destiné à l'ensemencement.

Carbonate de cuivre, CuO.CO_2 ; c'est un précipité bleu verdâtre, qui se produit lorsqu'on traite une solution du sel précédent par du carbonate de soude. On l'emploie comme couleur. Ce corps se forme principalement lorsque du cuivre ou des alliages de ce métal sont exposés à l'air humide ; on le nomme vulgairement vert-de-gris.

L'arsénite de cuivre se trouve dans la couleur verte, dite *vert de Schweinfurt*, ou *vert de Scheele* ; mais à cause de ses propriétés très-vénéneuses, il doit être totalement mis hors d'usage.

Quant à *l'acétate de cuivre*, le vert-de-gris véritable, il en sera question plus tard.

32. MERCURE.

Hydrargyrum ; Hg = 200 ; densité = 13,6 ; point d'ébullition = 360° C.

114. Nous commençons par ce métal la série des métaux *nobles* qui se conservent à l'air sans altération.

Le mercure réunit plusieurs caractères remarquables ; car, quoique étant un corps des plus denses, ses molécules ont une cohésion si faible, qu'elles glissent les unes sur les autres, c'est-à-dire qu'il constitue un liquide. Nous avons déjà vu dans la Physique son emploi important pour le baromètre et le thermomètre : il se congèle à 40° C. au-dessous de zéro.

Mais d'autres propriétés encore le rendent apte à des usages importants. C'est ainsi qu'il possède la propriété de rompre la cohésion de la plupart des autres métaux, de les dissoudre et de former avec eux des alliages liquides, qu'on nomme *amalgames*. C'est sur cette propriété que repose son emploi dans l'extraction de l'or et de l'argent de leurs minerais, ainsi que dans la dorure. C'est d'un amalgame de mercure et d'étain qu'on se sert pour étamer le verre et en faire, de cette manière, des miroirs. Un amalgame de 2 parties de mercure, d'une partie d'étain et d'une partie de zinc, sert dans la machine électrique.

Le mercure se rencontre soit à l'état natif, soit combiné au soufre, dont on le sépare en mélangeant le minerai avec de la limaille de fer et le soumettant à la distillation. La Bavière rhénane, en Allemagne, en fournit, mais en quantité peu considérable ; par contre, les mines d'Idria, en Illyrie, sont plus abondantes. L'Espagne possède à Almada des mines de mercure assez riches. Mais la plus grande quantité de mercure nous arrive de l'Amérique du Sud. Malgré cela, c'est un métal assez rare, et la livre en coûte fr. 5-50.

115. Les combinaisons du mercure sont la plupart des poisons violents, et les vapeurs du métal lui-même sont déjà très-nuisibles et déterminent la salivation. Pourtant, à petites doses, plusieurs combinaisons mercurielles sont employées en médecine.

L'acide azotique attaque vivement le mercure ; à froid, et quand le métal est en excès, il se forme de l'azotate d'oxyde de mercure, $Hg^2O.NO^3$; à chaud et avec un excès d'acide, de l'azotate d'oxyde de mercure $HgO.NO^3$. Lorsqu'on chauffe fortement un de ces sels, il se décompose, et l'on obtient de l'oxyde de mercure, HgO , sous forme d'une poudre rouge-brique brillante. On l'emploie dans le laboratoire pour préparer de l'oxygène, et en médecine pour des pommades ophthalmiques.

L'oxyde de mercure se dissout dans l'acide cyanhydrique liquide, et cette solution donne des cristaux de cyanure de mercure, $HgCy$.

Le chlorure de mercure, $HgCl$, se nomme encore *sublimé*, parce qu'on le prépare par la sublimation d'un mélange de sel de cuisine et de sulfate de mercure. Ce composé est un des poisons les plus violents, aussi bien pour les animaux que pour les végétaux. Sa dissolution sert pour cette raison à préserver le bois de construction contre le développement d'une production cryptogamique qui, sous forme de pourriture sèche, occasionne quelquefois des dégâts immenses dans la boiserie. On emploie encore le sublimé

pour garantir des objets d'histoire naturelle contre la destruction par les insectes. En médecine, on l'emploie à l'extérieur contre des dartres ou autres affections cutanées rebelles sous le nom de *sublimé corrosif*.

Lorsqu'on mélange du chlorure de mercure avec du mercure et qu'on sublime ce mélange, on obtient le *sous-chlorure de mercure*, $Hg^2 Cl$, ou *calomel*, qui est un médicament fréquemment employé, dont l'action est d'abord purgative; on l'appelle encore *mercure doux*.

Le *sulfure de mercure*, HgS , nommé encore *cinabre*, a déjà été cité plusieurs fois (§§ 3 et 41). Bien qu'on le rencontre tout formé dans la nature, on prépare pourtant artificiellement cette belle couleur rouge vif, en sublimant un mélange d'une partie de soufre et de 6 parties de mercure, et en pulvérisant le plus finement possible la masse obtenue. Les Chinois préparent un cinabre particulièrement beau.

33. ARGENT.

Argentum; Ag = 108; densité = 10; point de fusion = 1000° C.

116. L'argent est, sinon le plus précieux, au moins le plus beau de tous les métaux; chacun voit avec plaisir ces vases élégants et ces riches ornements qu'on en confectionne. Il se prête admirablement au travail, parce qu'il est très-malléable et très-ductile: on peut en faire de très-beaux ouvrages et l'étendre en fils très-minces. Son éclat se maintient sans altération à l'air; il n'y a que l'hydrogène sulfuré qui le ternisse et le noircisse. Autre avantage, les mets n'ont aucune action sur les ustensiles en argent. L'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique ne l'attaquent même pas à froid; par contre, l'acide azotique le dissout rapidement.

L'argent se rencontre à l'état natif, mais le plus souvent allié avec le plomb, dans des minerais de plomb argentifères, *galènes argentifères*. On l'extrait de ces dernières en les chauffant dans des fours à réverbère. Au contact de l'air, tout le plomb passe à l'état d'oxyde ou de *litharge*, tandis que l'argent reste pur. Des minerais pauvres, qui contiennent l'argent disséminé en particules impalpables, sont réduits en poudre très-fine; puis on place celle-ci avec du mercure dans des tonneaux, qu'on fait tourner pendant un temps assez long. Le mercure absorbe l'argent et l'amalgame recueilli est soumis à la distillation: le mercure se volatilise, et l'argent reste isolé. Mais si ces minerais contenaient en même temps du sulfure d'argent, on transforme, par un procédé d'amalgamation très-complicé, le sulfure d'argent d'abord en chlorure d'argent, puis en argent et en amalgame.

L'emploi le plus général de l'argent consiste dans la fabrication de *monnaies*. Comme l'argent pur est trop mou et que dans la circulation de

la monnaie, il s'userait trop rapidement, on ajoute pour la monnaie un peu de cuivre, qui rend l'argent plus dur. La proportion de cuivre varie selon le titre de l'argent, car les monnaies, les objets d'orfèvrerie et de bijouterie sont soumis à un *titre légal* réglé par la loi. Le titre légal pour la monnaie est de $\frac{900}{1000}$, c'est-à-dire qu'elle doit renfermer 900 d'argent et 100 de cuivre.

L'essai de l'argent dans le but de déterminer son titre peut se faire approximativement. Pour cela, on frotte l'argent à essayer sur une pierre noire et dure, dite *pierre d'essai*, et on compare la couleur de la raie avec la raie d'un argent d'un titre connu ; ou bien encore, on pèse un échantillon d'argent, on le fond avec du plomb, puis on chauffe l'alliage dans une capsule poreuse, dite *coupelle*. Le cuivre et le plomb s'imbibent dans la coupelle, et il n'y reste que l'argent pur. Mais l'essai le plus exact est l'essai dit par *voie humide*, qui consiste à faire dissoudre une certaine quantité de l'argent à examiner dans un peu d'acide chlorhydrique, d'ajouter à la solution du sel marin qui précipite l'argent sous forme de chlorure d'argent, tandis que le cuivre reste dissout. On se sert pour cela d'une solution de sel marin titrée, de laquelle 100 centimètres cubes, ou un décilitre, précipitent exactement un gramme d'argent. A cet effet, on fait fondre 0,5416 gramme de sel dans un décilitre d'eau. On dissout dans l'acide chlorhydrique un gramme de l'alliage d'argent à essayer ; puis on y verse goutte à goutte avec une burette graduée (fig. 55), la dissolution saline,

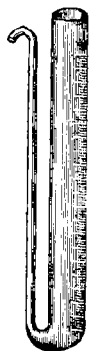


Fig. 55.

jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité. Le nombre de centimètres cubes de dissolution saline employée indique la quantité pour cent d'argent dans l'alliage.

117. Parmi les combinaisons d'argent, nous remarquons l'*azotate d'argent*, $AgO.NO^3$, que l'on obtient en cristaux blancs par la dissolution de l'argent pur dans l'acide azotique. Ce composé est vénéneux, caustique, et détruit facilement des tissus animaux ; c'est pourquoi on l'emploie en médecine comme caustique sous le nom de *pierre infernale*. En même temps la dissolution de ce corps colore au bout d'un certain temps les matières organiques en noir, de sorte qu'on l'emploie comme *encre ineffaçable* pour marquer le linge. Cette encre résiste parfaitement au lavage et au blanchissage, mais peut être facilement enlevée au moyen du *cyanure de potassium*.

Le *chlorure d'argent* se produit lorsqu'on traite une dissolution d'argent par un corps renfermant du chlore. C'est un précipité blanc, qui à la lumière solaire se colore rapidement en violet et puis en noir. Cette action de la lumière est encore plus remarquable sur l'*iodure d'argent* ; nous aurons l'occasion d'y revenir.

34. OR.

Aurum; Au = 196; densité = 19,5; point de fusion = 1200° C.

118. L'or est le plus éclatant de tous les métaux : c'est pourquoi les anciens déjà le nommaient le soleil ou le roi des métaux. Il est assez répandu, mais jamais en grandes masses ; aussi a-t-il plus de prix que les autres métaux. On a rencontré l'or principalement dans l'Amérique du Sud, dans la Californie, en Australie (Bathurst), aux Indes orientales, en Afrique, en Hongrie et dans les monts Oural. Il se trouve ordinairement à l'état natif, soit en morceaux plus ou moins grands, nommés *pépites*, soit sous forme de petits grains disséminés dans d'autres roches. De la désagrégation de celles-ci résulte le *sable aurifère*, que charrient beaucoup de fleuves, entre autre le Rhin. L'or étant très-dense, on peut l'extraire de ces sables par le lavage. Pour l'extraire des minerais pauvres, on secoue ceux-ci avec du mercure, qui dissout l'or. En chauffant ensuite l'amalgame, le mercure se dissout et l'or reste.

Parmi les qualités remarquables de l'or, il convient surtout de mentionner son extrême malléabilité ; cinq centigrammes d'or peuvent être tirés en un fil de 150 mètres de longueur, et réduits en feuilles dont l'épaisseur constitue à peine $\frac{1}{80000}$ de centimètre. Aussi l'on dore beaucoup d'objets soit en y appliquant de l'or en feuilles (les cadres, par exemple), soit en recouvrant des objets métalliques d'un amalgame d'or et en les chauffant ensuite pour faire évaporer le mercure (*dorure au feu*), soit par des procédés galvaniques (§ 124).

Sous le rapport chimique, il est à remarquer que l'or n'est attaqué par aucun acide. Même l'hydrogène sulfuré est sans action sur lui. Par contre, le chlore libre le dissout ; c'est pourquoi on se sert, pour dissoudre l'or, d'un mélange nommé *eau régale* et composé d'acide azotique et d'acide chlorhydrique (§ 45). La solution qui en résulte renferme du *trichlorure d'or*, $AuCl_3$; elle possède une couleur jaune et communique à la peau et aux tissus organiques une couleur pourpre.

Lorsqu'on décompose une solution de chlorure d'or par du sulfate d'oxydure de fer, l'or se réduit à l'état métallique sous forme d'un précipité brun.

En mélangeant des solutions de *chlorure d'or* et de *chlorure d'étain*, on obtient un précipité dit *pourpre de Cassius*, employé dans la teinture sur porcelaine et sur verre comme couleur pourpre magnifique.

Comme l'or est assez mou et en même temps très-précieux, on ne le travaille jamais à l'état pur, mais toujours allié au cuivre ou à l'argent. La monnaie d'or de France est au titre de $\frac{900}{1000}$, avec une tolérance de $\frac{2}{1000}$ au-dessous et au-dessus. Pour la bijouterie, il y a trois titres légaux ; le titre le plus ordinairement employé est de $\frac{735}{1000}$, les autres titres de $\frac{810}{1000}$ et de $\frac{920}{1000}$ sont peu employés.

35. PLATINE.

Platina; PI = 99; densité = 21.

119. Ce métal n'a été connu qu'après la découverte de l'Amérique; nous l'obtenions exclusivement de l'Amérique du Sud jusqu'à ce que dans notre siècle on le découvrit également dans le mont Oural. Il se trouve toujours à l'état natif, possède une couleur blanche tirant sur le gris; il est assez mou et très-malléable. De même que l'or, il n'est attaqué que par le chlore et ne se dissout que dans l'eau régale. Il a sur l'or l'avantage d'être *infusible* à la température la plus élevée. Ces qualités donnent au platine une grande valeur pour la confection de certains appareils chimiques, tels que des creusets, et au § 41 nous avons vu qu'on en fabriquait même des vases distillatoires dont la valeur est d'environ fr. 38 par once.

A cause de son infusibilité, le platine était resté autrefois sans usage, et la manière de le travailler, offrant des difficultés particulières, est restée longtemps un secret. Voici comment on procède : Le minerai de platine ou bien les ustensiles de platine hors d'usage sont dissous dans de l'eau régale, et la solution est traitée par une solution de chlorhydrate d'ammoniaque. Il se forme un précipité jaune de *chlorure double de platine et d'ammonium*, $PtCl_2 + NH_4Cl$. Ce précipité, calciné au rouge, se décompose et le platine reste sous forme d'une masse spongieuse grise qu'on nomme *éponge de platine*. Celle-ci, soumise d'abord à une très-forte pression et chauffée ensuite jusqu'au rouge blanc, acquiert de la densité et de la cohésion et se trouve en état d'être travaillée.

L'éponge de platine possède la propriété remarquable de condenser des gaz dans ses interstices, ce qui lui donne la faculté d'enflammer l'hydrogène dirigé sur lui. On a tiré parti de ce principe pour la confection des *briquets à hydrogène*.

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CHIMIQUES.

120. Lorsqu'on fait passer un courant électrique à travers une combinaison chimique liquide, cette dernière se décompose, en supposant que le courant soit suffisamment fort et que les deux fils, par lesquels le courant entre et sort, se trouvent à distance convenable l'un de l'autre. L'électricité de frottement ne possède cette action décomposante qu'à un faible degré; tandis que les courants électriques provoqués par le contact ou par l'électro-magnétisme produisent cette décomposition avec vigueur. On emploie ordinairement le courant galvanique pour la décomposition

chimique, et on nomme alors celle-ci *électrolyse*. Il n'y a que très-peu de combinaisons chimiques qui résistent totalement à l'action décomposante du courant électrique; et ce sont alors des corps qui ne conduisent pas l'électricité, tels que, par exemple, l'alcool et l'huile.

Il est extrêmement remarquable que, dans l'électrolyse, l'un des éléments de la combinaison chimique se rend constamment au pôle positif et l'autre au pôle négatif. On nomme le premier l'élément *électro-négatif* et l'autre l'élément *électro-positif* de la combinaison. Il y a ici évidemment attraction des éléments de la part des fils représentant les pôles, et si ces fils sont de nature à pouvoir se combiner avec les corps séparés, cette combinaison se fait. Si ces fils étaient, par exemple, en cuivre, et si vers un de ces fils il se séparait de l'oxygène, celui-ci se combinerait avec le cuivre et formerait de l'oxyde de cuivre. Le courant électrique n'agit donc pas seulement en décomposant, mais il peut encore déterminer des combinaisons. C'est pourquoi on

emploie ordinairement comme conducteurs des fils de platine, parce que celui-ci n'est attaqué que par très-peu de substances.

Une loi électrolytique est la suivante : Des quantités égales d'électricité décomposent toujours des quantités égales et correspondantes d'une combinaison chimique; ensuite, la décomposition a toujours lieu dans les rapports des équivalents chimiques de la combinaison, et, par exemple, pour chaque équivalent de zinc qui se dissout par un courant électrique, il y a également un équivalent d'eau ou d'un autre corps qui est décomposé.

121. Pour les expériences électrolytiques on se sert ordinairement des éléments galvaniques de *Bunsen* composés de charbon et de zinc : on en réunit plusieurs en une pile (*Physique,*

§ 208). Des fils conducteurs font communiquer la pile avec l'appareil à décomposition. La fig. 56 représente un de ces appareils destiné à la

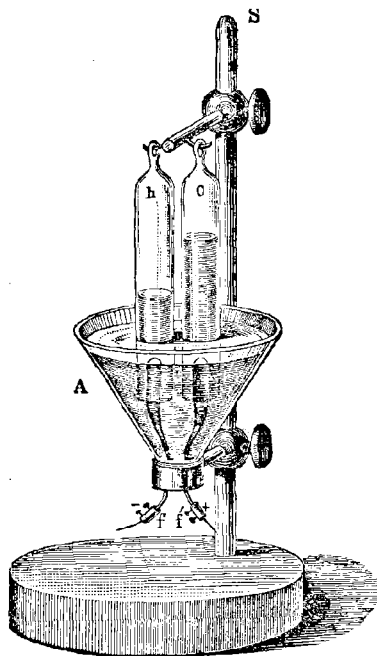


Fig. 56.

décomposition de l'eau. Le courant y entre en f et f' par des fils qui se terminent par de petites lames de platine. Au pôle positif il se développe du gaz oxygène, et au pôle négatif du gaz hydrogène, et cela dans leurs rapports de volume de 1 à 2. L'oxygène préparé ainsi par la voie électrolytique est à l'état d'ozone.

Les sels des alcalis sont décomposés de manière que les acides se rendent au pôle électro-positif, et la base au pôle électro-négatif. Lorsqu'on

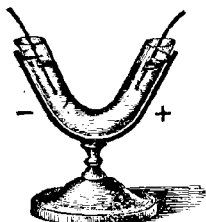


Fig. 57.

met, par exemple, dans le tube courbé (fig. 57) une solution de sulfate de soude, NaO.SO_3 , légèrement colorée en bleu par du sirop de violettes ou de chou rouge, et qu'au moyen des deux fils on y fasse passer un courant, l'acide sulfurique se rendra au pôle positif et colorera dans cette branche du tube la solution en rouge, tandis que dans l'autre branche la solution sera colorée en vert par la soude devenue libre. Aussitôt qu'on interrompt le courant, l'acide se combine de nouveau avec la base, et la solution reprend sa coloration bleue.

Les sels des métaux pesants sont décomposés par le courant galvanique de telle manière que le métal se rend au pôle négatif, tandis que l'oxygène et l'acide, ou bien les corps halogènes, par exemple, le chlore ou le cyanogène, se rendent au pôle positif.

122. Parmi les corps simples que nous avons appris à connaître jusqu'ici, l'oxygène se rend dans toutes les circonstances au pôle positif, le potassium toujours au pôle négatif; de sorte que le premier est le plus électro-négatif, le second le plus électro-positif de tous les corps simples. Les autres apparaissent tantôt à l'un, tantôt à l'autre pôle. Dans l'ordre d'énumération suivant, qui est encore appelé la *série électrique*, les corps sont rangés de telle manière, que chacun est *électro-négatif* par rapport aux corps qui le suivent, et *électro-positif* par rapport à ceux qui le précèdent. C'est ainsi que le chlore, par exemple, est séparé de sa combinaison avec l'oxygène par le pôle électro-négatif, tandis que dans ses combinaisons avec l'hydrogène ou avec les métaux, il est séparé par le pôle électro-positif. Les corps qui se trouvent très-éloignés l'un de l'autre dans la série électrique ont une affinité plus forte entre eux que les corps qui se suivent de près.

Série électrique des corps simples : — Oxygène, Soufre, Azote, Chlore, Brome, Iode, Fluor, Phosphore, Arsenic, Carbone, Chrome, Bore, Antimoine, Silicium, Or, Platine, Mercure, Argent, Cuivre, Bismuth, Plomb, Cobalt, Nickel, Fer, Zinc, Hydrogène, Manganèse, Aluminium, Calcium, Strontium, Barium, Sodium, Potassium.

En se basant sur ces faits, on a émis l'opinion que l'affinité chimique était due à l'état électrique des corps simples. Mais comme beaucoup de phénomènes ne pouvaient s'expliquer par cette *théorie électro-chimique*, elle n'a pu se maintenir.

123. La galvanoplastie est une application pratique de la décomposition chimique par le courant électrique. Lorsqu'on désire obtenir une imitation métallique d'un objet plastique, d'une médaille, par exemple, on procède de la manière suivante : On prend un verre cylindrique à bord renversé et dont on a coupé le fond, et on bouche l'ouverture avec de la



Fig. 58.



Fig. 59.

vessie mouillée; ensuite on l'entoure, comme le montre la fig. 58, d'un cercle en fil métallique. On soude ensuite une lame de zinc large de $2\frac{1}{2}$ centimètres longue d'environ 12 centimètres à une lame de cuivre de 25 centimètres de longueur et recourbée de la manière indiquée dans la fig. 59; sur la partie horizontale de cette lame on

place la médaille, on fait plonger le zinc dans le cylindre préalablement rempli d'acide sulfurique étendu (1 partie d'acide et 16 parties d'eau) on suspend tout l'appareil dans un vase en verre (fig. 60), qui contient une *solution saturée de sulfate de cuivre*, CuO.SO_3^2 , dans laquelle on place en outre quelques cristaux de ce sel. Il est bon d'observer que les parties du cuivre et de la médaille immergées dont on ne désire pas avoir la reproduction doivent être préalablement enduites de cire à cacheter ou de cire ordinaire.

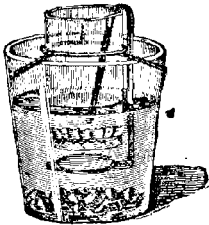


Fig. 60.

La vessie empêche le mélange des deux liquides, mais elle livre passage au courant galvanique qui résulte du contact des deux métaux et de l'influence de l'acide sulfurique. Bientôt la médaille, qui forme le pôle négatif de l'appareil, se recouvre d'un léger vernis de cuivre métallique, qui s'épaissit de plus en plus et qui, au bout de quelques jours, a acquis l'épaisseur d'une carte à jouer et peut alors être enlevé. Le zinc dans le cylindre se dissout en quantité proportionnelle, et à mesure que le sel de cuivre est décomposé, les cristaux ajoutés se dissolvent de telle sorte que la solution reste toujours saturée.

Pour des ouvrages galvanoplastiques plus grands, on se sert de piles galvaniques et on conduit le courant par des fils à travers l'appareil à décomposition. L'objet sur lequel le précipité métallique se dépose doit être un conducteur de l'électricité; mais on peut également employer

des moules composés d'un corps non conducteur, par exemple, de cire, de gutta-percha, de stéarine, de plâtre, etc.; seulement, il faut alors rendre leur surface conductrice par un enduit de fine poudre métallique (de bronze) ou de plombagine.

La galvanoplastie a trouvé une application très-étendue dans les arts, pour reproduire des objets d'art plastique : les statues de Gutenberg, Fust et Schöffer, érigées dans la ville de Francfort, en sont des exemples ; on l'emploie encore pour confectionner les planches de gravure ainsi que pour multiplier ces planches, comme les gravures sur bois.

124. Pour la dorure galvanique, on place l'objet composé d'un métal quelconque, le plus souvent de cuivre, de laiton, de bronze ou d'argent, après l'avoir préalablement nettoyé avec le plus grand soin, dans une solution de 1 partie chlorure d'or et 10 parties cyanure de potassium dans 100 parties d'eau, et on fait communiquer cette dissolution avec le pôle négatif d'une pile galvanique. Le pôle positif se rend également dans la solution au moyen d'un fil qui se termine dans une lame d'or. Les fils conducteurs doivent être en or ou dorés, au moins aussi loin qu'ils trempent dans la solution. A mesure qu'il se précipite de l'or, il s'en dissout une égale quantité de la lame d'or, et la solution reste toujours au même degré de saturation.

L'argenture galvanique se fait d'une manière tout à fait semblable. Le bain qui sert à cet effet se compose d'une dissolution de 1 partie cyanure d'argent et 10 parties cyanure de potassium dans 100 parties d'eau ; les fils conducteurs et la lame métallique du pôle positif doivent être en argent. Les objets argentés en sortant du bain sont ternes et doivent ensuite être polis. — Sous une influence semblable du courant galvanique on peut recouvrir, pour le graveur, les planches en cuivre d'une couche de fer. Le bain dont on se sert à cet effet se compose de 2 parties de sulfate d'oxydure de fer, 1 partie de sel ammoniac et 8 parties d'eau. Les planches de cuivre acquièrent ainsi la solidité des planches d'acier.

EFFETS CHIMIQUES DE LA LUMIÈRE.

125. Le soleil n'est pas seulement le grand flambeau qui éclaire notre système planétaire, mais la lumière qui en émane est encore d'une haute importance par ses effets chimiques. Une série des phénomènes chimiques les plus importants ne peut avoir lieu sans le concours de la lumière solaire. Dans certains cas, elle ne détermine que la simple combinaison des corps. Un mélange de chlore et d'hydrogène se combine instantanément, dès qu'il est frappé directement par la lumière solaire (fig. 45). Dans d'autres cas, il y a simple décomposition; l'acide azotique se décompose

sous son influence en oxygène et en acide azoteux; l'azotate d'argent se décompose en argent amorphe et noir, tandis que les éléments constituants de l'acide s'échappent sous forme de gaz. Mais, dans la plupart des cas, il y a, sous l'influence de la lumière, simultanément décomposition et combinaison. Le chlore avec l'eau se décompose en acide chlorhydrique et en oxygène, $Cl + HO = ClH + O$.

L'influence de la lumière se manifeste sur une grande échelle dans beaucoup de phénomènes de la nature organique. Les feuilles ne dégagent de l'oxygène qu'à la lumière (fig. 26); la couleur verte des feuilles ne se forme qu'au contact de la lumière; la production des matières colorantes organiques est tellement sous la dépendance de la lumière, que les plantes et les animaux des contrées lumineuses des tropiques se distinguent de ceux des autres zones, par la magnificence et la diversité de leur coloration. Mais la lumière n'en est pas moins aussi l'ennemie des couleurs; car elle détruit celles-ci et les pâlit, comme on le sait, avec une telle force, que nous connaissons peu de couleurs capables de résister à son influence d'une manière complète et durable. Dans beaucoup de ces cas, le phénomène chimique provoqué par la lumière nous est totalement inconnu et ne peut se déduire qu'indirectement.

Les différentes espèces de lumière ont des effets chimiques très-inégaux; les rayons lumineux violets déterminent l'action chimique la plus forte; les rayons rouges et jaunes, la plus faible; la lumière des bougies n'exerce qu'une très-faible action chimique. C'est pourquoi on prépare toutes les expériences relatives à cet objet dans des chambres éclairées par des bougies ou bien par des rayons solaires passant à travers des vitres jaunes.

L'effet de la lumière solaire est le plus remarquable lorsqu'on y expose du *chlorure d'argent*; la couleur blanche de ce corps se transforme aussitôt en couleur violette et noire, parce qu'une petite partie est décomposée en chlore et en argent finement divisé. Il en est de même de l'*iodure d'argent*, *AgI*.

Enfin, certaines résines ont la propriété de devenir, sous l'influence de la lumière solaire, insolubles dans l'alcool. De même la gélatine et la gomme perdent leur solubilité dans l'eau, lorsque leurs solutions sont mélangées de bichromate de potasse et exposées à la lumière après dessiccation.

C'est en vain que nous cherchons à nous expliquer comment ces légères ondulations de l'éther, qui nous apparaissent comme lumière, sont en état de mettre en mouvement les parties matérielles dont se composent les combinaisons chimiques. Cette action est d'autant plus remarquable, qu'elle se manifeste quelquefois avec une rapidité semblable à celle de l'éclair. L'homme, qui a la mission d'utiliser à son service toutes les forces de la nature, s'est également emparé des rayons solaires pour fixer, par leur intermédiaire, les images de la *chambre obscure* (Physique, § 175), pour produire ce qu'on nomme des *images lumineuses*.

Pendant un grand nombre d'années, deux Français, MM. *Niepce* et *Daguerre*, se sont occupés de cette question, jusqu'à ce qu'en 1839 ce dernier trouva la solution et obtint de ce chef, comme récompense nationale, un revenu viager de 6,000 francs.

126. Les daguerréotypes s'obtiennent de la manière suivante : Une plaque d'argent extrêmement polie est exposée à des vapeurs d'iode jusqu'à ce qu'elle se soit recouverte d'une couche jaune d'*iodure d'argent*; puis on la place dans une chambre obscure, où on fait tomber sur elle l'image d'un objet quelconque. Cette image, produite par les rayons lumineux réfractés à travers une lentille collective, décompose l'iodure d'argent, les parties claires le plus fortement, les parties plus foncées le plus faiblement. Cette décomposition est ordinairement achevée au bout de peu de secondes. On expose alors la plaque à des *vapeurs de mercure*, qui font ressortir l'image. Enfin, on pose la plaque dans un bain d'*hyposulfite de soude*, $\text{NaO.S}^2\text{O}^3$, qui enlève le restant d'iodure d'argent, de telle sorte que l'image ne subit plus de modifications par la lumière.

Aux places sur lesquelles la lumière a agi, l'iodure d'argent, AgJ , qui recouvrait la plaque, a été transformé en semi-iodure d'argent Ag^2J , dont les vapeurs mercurielles séparent l'argent métallique, en formant probablement un amalgame. Au microscope, on reconnaît distinctement que les parties obscures ou ombrées du daguerréotype se composent d'un fond argenté brillant, tandis que les parties frappées par la lumière paraissent recouvertes d'une poussière de globules métalliques. En effet, l'image peut facilement être effacée : c'est pourquoi on lui donne une légère dorure galvanique et on la protège par du verre. Un défaut capital des images produites de cette manière; c'est qu'elles reposent sur une réflexion inégale de la lumière, sur le miroitement d'une surface métallique : aussi a-t-on abandonné presque totalement ce procédé.

127. L'invention de la *photographie* est due à un Anglais, M. Talbot. On s'y prend de la manière suivante : Une plaque de verre très-soigneusement nettoyée est recouverte de *collodion* (V. ce mot), qui renferme, sur 200 parties en poids, environ 2 à 3 parties d'*iodure ammonique* ou 0,6 parties d'*iodure potassique*; il se forme sur celui-ci une membrane mince, transparente, et avant que cette membrane soit complètement séchée, on trempe la plaque dans une solution d'*azotate d'argent*, de sorte que, par la décomposition des sels, elle se recouvre d'une couche d'iodure d'argent en prenant une couleur blanc jaunâtre et transparente. La plaque est ensuite placée dans la chambre obscure, où, selon la plus ou moins grande intensité du jour, elle reste exposée pendant 4 à 20 secondes. Mais ici encore l'image ne se produit pas instantanément: elle doit être provoquée par une influence ultérieure. On emploie à cette fin le bain dit *révéléateur*,

qui est une solution d'*acide gallique* avec addition d'alcool ou d'acide acétique, et on trempe la plaque dans ce bain. Aussitôt l'image apparaît ; les places fort éclairées prennent une couleur noire, car il s'y trouve de l'iode isolé, qui décompose l'eau pour se combiner avec son hydrogène, tandis que l'oxygène, devenu libre, oxyde l'acide gallique en une substance noire charbonneuse. On peut aussi employer comme bain révélateur une solution de *sulfate d'oxyde de fer*, $FeO.SO^3$, qui dans les mêmes circonstances se transforme en sulfate basique d'oxyde de fer.

Alors on fixe l'image, c'est-à-dire on la plonge dans un bain d'*hyposulfite de soude*, qui enlève l'iodure d'argent aux places qui n'ont pas été modifiées par la lumière.

Mais l'image ainsi obtenue ne répond pas encore à nos exigences, car c'est une image *négative*, c'est-à-dire une image où les lumières les plus fortes ressortent noires et opaques, tandis que les parties les plus foncées apparaissent blanches. C'est pourquoi cette image doit servir à former l'image *positive*, dans laquelle existe le rapport contraire et correspondant à la réalité entre la lumière et l'ombre. On parvient à ce but en employant le *papier photographique*, qui possède un enduit d'iodure d'argent, car il a été plongé d'abord dans une solution d'iodure de potassium et ensuite dans une solution d'argent. On recouvre ce papier de l'image négative, on l'expose ainsi à la lumière solaire, et bientôt l'image positive se produit. Mais cette image encore réclame pour dernière opération la fixation au moyen d'un bain d'hyposulfite de soude.

La photographie est rendue aujourd'hui considérablement plus facile, car on trouve dans le commerce non-seulement les instruments optiques et autres appareils, mais encore les préparations chimiques nécessaires.

II. Chimie organique.

128. L'étude que nous venons de faire des corps inorganiques simples et composés nous a montré que ceux-ci se rencontrent toujours à l'état de minéraux ou bien qu'ils dérivent de minéraux. — Les combinaisons organiques, par contre, se trouvent toutes formées dans le corps des végétaux ou des animaux, ou bien dérivent de ceux-ci.

La séparation de la chimie en deux parties n'est nullement absolue et tranchée ; il y a beaucoup de combinaisons, telles que l'ammoniaque, l'acide carbonique, le cyanogène, etc., qui peuvent se ranger dans les deux parties et qui, effectivement, établissent la transition de l'une à l'autre. Pourtant, les caractères distinctifs des combinaisons organiques justifient assez la division habituelle.

L'histoire du carbone nous a enseigné, aux §§ 54 et 55, que le corps d'une plante ou d'un animal se compose, pour la plus grande partie, d'hydrogène, de carbone et d'azote, que par conséquent il est combustible et ne laisse, après la combustion, qu'un faible résidu de cendres. Nous avons vu en outre que cette cendre se compose principalement de potasse, de soude ou de chaux, tous corps qui ont été rangés dans la chimie inorganique. Il reste donc pour sujet de la chimie organique précisément cette partie combustible des corps organiques, et nous trouvons par conséquent ici un caractère capital des composés organiques, savoir qu'ils sont complètement *combustibles*.

129. Toutes les combinaisons organiques contiennent du carbone et se reconnaissent facilement parce qu'étant chauffées elles noircissent ou parce qu'elles déposent de la suie quand on les brûle sous un faible accès d'air. Dans quelques composés organiques il s'ajoute au carbone un second élément, soit l'oxygène, soit l'hydrogène, soit l'azote; mais la grande majorité se composent de trois éléments, car il s'unit au carbone de l'hydrogène et de l'oxygène, ou bien, ce qui est plus rare, de l'azote et de l'hydrogène, ou bien encore de l'azote et de l'oxygène. Enfin, nous rencontrons une série de composés organiques qui renferment quatre éléments, savoir le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.

Il est remarquable que l'on ne connaisse aucun composé organique qui renferme moins de deux équivalents de carbone, ou bien qui contienne un nombre impair d'équivalents de carbone.

130. Dans la chimie inorganique, nous avons trouvé une grande diversité de combinaisons, comme des acides, des bases, des sels avec les propriétés les plus différentes. Cela nous surprenait peu, parce qu'il y a là tant d'éléments divers capables d'imprimer des caractères particuliers aux combinaisons. Nous trouvons tout naturel que les composés du soufre et du phosphore, ainsi que ceux du fer et du cuivre, aient des propriétés toutes différentes, puisqu'il s'y trouve des éléments tout différents.

Dans la chimie organique, la diversité n'est pas moins grande; les composés, ici encore, possèdent les propriétés les plus différentes. Nous trouvons là en grand nombre des acides, des bases, des corps neutres, des poisons, des aliments, des matières odorantes et colorantes avec les propriétés les plus remarquables et les plus opposées.

Pourtant, il n'est pas moins vrai que toutes ces substances ne se composent au plus que de quatre des corps simples cités plus haut; qu'elles offrent conséquemment, dans leur composition élémentaire, une homogénéité remarquable. La diversité dans les propriétés chimiques des composés organiques ne dépend donc pas de la nature de leurs éléments, mais bien de la proportion d'après laquelle ces différents éléments entrent dans la composition du corps, c'est-à-dire du nombre des équivalents en pré-

sence. On n'a donc pu se faire une idée claire de ce domaine qu'après avoir trouvé une méthode pour déterminer de la manière la plus exacte les quantités relatives des éléments qui se trouvent dans les combinaisons organiques.

131. Analyse organique. La plupart des combinaisons organiques se composent de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Rappelons-nous qu'un tel corps est combustible, et que sa combustion parfaite ne donne naissance qu'à deux combinaisons volatiles d'oxygène, savoir : l'acide carbonique et l'eau. Il suffit donc de veiller en premier lieu à ce qu'il se trouve une quantité d'oxygène suffisante pour brûler complètement le corps que l'on veut analyser, et en second lieu de recueillir de la manière la plus exacte les produits de la combustion.

Pour cela, on procède de la manière suivante : on pèse 100 parties du corps que l'on veut analyser, soit 100 grammes de sucre très pur, et on les mélange intimement avec beaucoup d'oxyde de cuivre, CuO . On place ce



Fig. 61.

mélange dans un tube de verre peu fusible, dit *tube à combustion* (fig. 61), que l'on

chauffe au rouge. L'oxyde de cuivre fournit l'oxygène nécessaire à la combustion. Celui-ci se combine avec le carbone du sucre pour faire de



Fig. 62.

l'acide carbonique, et avec l'hydrogène pour faire de l'eau, tandis qu'une quantité cor-

respondante de cuivre se réduit à l'état métallique. Les deux produits de cette combustion sont volatils et sont chassés par la chaleur hors du tube

à combustion; ils passent d'abord à travers

le *tube à chlorure de calcium* (fig. 62), qui

est rempli de morceaux de chlorure de calcium, celui-ci absorbant et retenant

totalemtent la vapeur d'eau. L'acide carbonique va plus loin et arrive dans un appa-

reil ingénieux, inventé par M. Liebig et

appelé *appareil à potasse*, ou *appareil à boules de Liebig*, composé d'un tube en

forme de triangle, dont le trajet est élargi à plusieurs places en boules (fig. 63). Cet

appareil est rempli d'une dissolution de

potasse (§ 75). Il arrive ainsi que l'acide carbonique qui entre dans la pre-

mière boule est obligé sous une certaine pression de traverser peu à peu

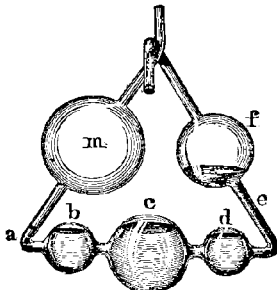


Fig. 63.

mière boule est obligé sous une certaine pression de traverser peu à peu

les autres boules, de sorte qu'il est absorbé complètement. Dans la fig. 64, nous voyons l'appareil tout disposé. La combustion se fait peu à peu dans

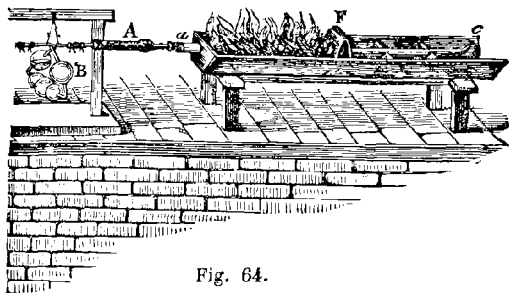


Fig. 64.

le tube et toujours d'avant en arrière.

Le tube est placé à cet effet sur une grille à combustion. Dès qu'il n'entre plus de gaz dans l'appareil à potasse, la combustion est terminée; on casse alors la pointe effilée qui se trouve à

l'extrémité du tube à combustion et on aspire un peu à l'appareil de potasse; l'air entre alors par la pointe brisée du tube, chasse la vapeur d'eau et l'acide carbonique, qui restaient encore dans le tube, dans l'appareil absorbant.

Le tube à chlorure de calcium et l'appareil à potasse avaient été très-exactement pesés avant l'opération; en les pesant une seconde fois, on découvre, par l'augmentation de leur poids, les quantités d'eau et d'acide carbonique obtenues par la combustion du sucre. Comme on connaît la quantité d'hydrogène et de carbone contenue dans une quantité donnée d'eau et d'acide carbonique, il est facile de calculer la quantité de ces deux éléments qui se trouve dans le sucre. Cela connu, la quantité du troisième élément est toute trouvée. On s'est assuré, de cette manière, que le sucre a la composition suivante sur cent parties :

42,1	.....	carbone.
6,4	.....	hydrogène.
51,5	.....	oxygène.
100,0		

132. Détermination de l'azote. La présence de l'azote dans une combinaison organique se décèle par l'odeur caractéristique de poils ou de plumes brûlées qui s'exhale lors de sa combustion. Les vapeurs qui se dégagent renferment de l'ammoniaque, NH^5 (§ 84), et communiquent par conséquent au papier rouge végétal une couleur bleue. Lorsqu'on chauffe une combinaison organique azotée avec un alcali caustique, tel que la potasse, la soude, la chaux, tout l'azote qui y est contenu se combine avec l'hydrogène et s'échappe à l'état d'ammoniaque. C'est sur ce principe que repose le procédé analytique de ces matières. On pèse exactement la com-

binaison à analyser et on la mélange avec de la soude caustique et de la chaux. On introduit ces substances dans un tube à combustion *a* (fig. 65),

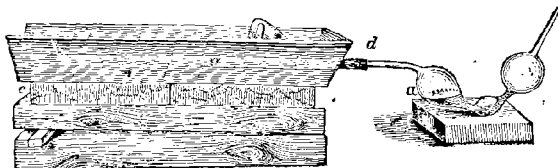


Fig. 65.

que l'on chauffe, et on s'empare de tout l'ammoniaque qui se dégage au moyen de l'acide chlorhydrique contenu dans un petit appareil à boules. Lorsque l'opération est terminée, le liquide contient l'azote du composé organique, sous forme de sel ammoniac, $NH^3.ClH$; on décompose celui-ci par une solution de bichlorure de platine; il se forme un précipité de chlorure ammoniaco-platinique insoluble ($Pl.Cl^2 + NH^4Cl$); on dessèche celui-ci, on le pèse, et on calcule la quantité d'azote contenue dans ce sel double; 2787 parties de sel correspondent à 175 parties d'azote.

Il faut observer qu'indépendamment des éléments que nous venons d'envisager, certaines matières organiques contiennent du soufre et du phosphore. On est encore parvenu artificiellement à introduire dans certaines combinaisons organiques une série d'autres corps simples, notamment du chlore, du brome et de l'iode, et parmi les métaux, l'étain, le zinc et l'antimoine.

133. En se basant sur les résultats obtenus dans l'analyse des corps organiques, on a établi les formules de leur composition chimique. Ici encore, l'équivalent d'une combinaison est égal à la somme des équivalents de ses éléments. Nous allons mettre en regard les uns des autres quelques formules de composés inorganiques et de composés organiques :

COMBINAISONS INORGANIQUES.

COMBINAISONS ORGANIQUES.

NOMS.	FORMULES.	ÉQUIV.	NOMS.	FORMULES.	ÉQUIV.
Eau	H^2O	9	Alcool.....	$C^2H^6O^2$	40
Cinabre.....	HgS	116	Sucre	$C^{12}H^{10}O^{11}$..	171
Sel de cuisine...	$NaCl$	58,5	Amidon.....	$C^{12}H^{10}O^{10}$..	162
Acide sulfurique.	$SO^3.HO$..	49	Acide acétique..	$C^4H^4O^4$	60
Acide azotique..	$NO^3.HO$..	60	Acide citrique...	$C^{12}H^8O^{14}$..	182
Potasse hydratée.	$KO.HO$...	56	Quinine	$C^{60}H^{24}N^2O^4$	324
Alun	$KO.SO^3 + Al^2O^3.5SO^3$	257	Stéarine.....	$C^{14}H^{11}O^2$	890

En comparant les deux séries, on est frappé d'une différence remarquable qui constitue un caractère fondamental des composés organiques; savoir, que les formules de ces derniers contiennent ordinairement un grand nombre d'équivalents de leurs éléments, dont la somme donne à la combinaison un équivalent très-élevé. Les corps inorganiques paraissent comparativement beaucoup plus simples dans leur composition.

On pourrait, à la vérité, demander pourquoi on n'a pas simplifié les formules des substances organiques; pourquoi, par exemple, la formule de l'acide acétique n'est pas = CHO , au lieu de $C^4H^4O^4$, ni la quinine = $C^{20}H^{12}NO^2$, au lieu de $C^{40}H^{24}N^2O^4$, telle que nous l'avons donnée plus haut. Mais dans l'établissement de ces formules on a été guidé par des raisons majeures. Si l'on met en contact de l'acide acétique avec du carbonate de soude, $NaO.CO^2$, ce dernier se décompose, l'acide carbonique se dégage, l'acide acétique prend sa place et forme de l'acétate de soude. Mais l'analyse de ce sel démontre qu'en lieu et place de 1 équiv. d'acide carbonique $CO^2 = 22$ parties en poids, ce n'est pas 15 parties en poids d'acide acétique, correspondant à la formule $CHO = 15$, mais bien 51 parties, correspondant à la formule $C^4H^5O^5$, savoir, la formule de l'acide acétique anhydre, qui se sont combinées avec la soude. Si l'on ajoute à la formule de l'acide acétique anhydre 1 équivalent d'eau $HO = 9$, on obtient la formule $C^4H^4O^4 = 60$ pour l'acide acétique hydraté. La quinine est une forte base : 324 parties en poids de cette base forment avec un équivalent d'acide sulfurique un sel neutre; c'est pourquoi on exprime l'équivalent de quinine par la formule $C^{40}H^{24}N^2O^4$, et on ne peut pas la simplifier. C'est ainsi que pour les autres formules indiquées de l'alcool et du sucre, il existe également des raisons basées soit sur la production soit sur la décomposition de ces corps et que nous mentionnerons plus tard.

134. Corps isomères. On a dû être bien surpris lorsque l'analyse organique est venue démontrer qu'il existait des combinaisons organiques possédant absolument la même composition, mais variant notablement sous le rapport de leurs propriétés chimiques et physiques. Parmi ces matières, qu'on nomme *combinaisons isomères* et dont la composition peut s'exprimer par la même formule, nous avons, par exemple :

Huile de térébenthine.....	=	$C^{30}H^{36}$
Huile de citron.....	=	$C^{20}H^{16}$
Éther formique.....	=	$C^6 H^6 O^4$
Éther méthylique.....	=	$C^6 H^6 O^4$
Sucre anhydre.....	=	$C^6 H^5 O^5$
Amidon.....	=	$C^6 H^5 O^5$
Ligneux.....	=	$C^6 H^5 O^5$

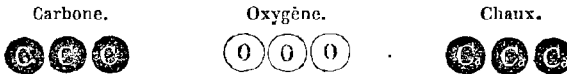
Nous avons déjà antérieurement attiré l'attention sur la différence que présentaient certains corps simples à certains états. Nous n'avons qu'à

rappeler le carbone, le soufre et le phosphore amorphe, l'acier dur et l'acier mou. Cette différence essentielle dans les propriétés d'une même matière ne peut s'expliquer qu'en admettant que les plus petites molécules ont, dans les différents états, un arrangement différent. Les atomes de carbone disposés régulièrement en cristaux constituent le diamant; disposés pêle-mêle, ils forment la suie. Nous pouvons donc, avec le même droit, rechercher dans les corps isomères la raison de leurs différences dans un arrangement particulier de leurs atomes.

135. Atome. Molécule. Équivalent. Déjà en *Physique*, § 11, il a été dit que chaque corps se composait de particules extrêmement petites, ou d'atomes, qui ne sont plus ultérieurement divisibles. Cette supposition trouve un fondement essentiel dans divers faits de la chimie qui ont conduit à certaines idées sur la matière, idées dont l'ensemble constitue la théorie des atomes ou la *théorie atomique*, dont nous allons communiquer les points essentiels :

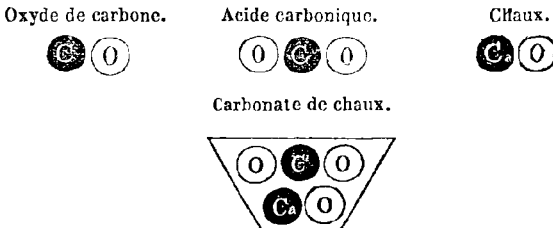
1. Chaque corps se compose de particules très-petites, qu'on nomme atomes, qui ne sont en aucune manière susceptibles d'être divisés plus loin et qui sont tellement petits, qu'il est impossible, même avec le meilleur microscope, de distinguer un atome isolé. Les atomes de tous les corps ont la forme sphéroïdale. Les corps sont solides, liquides ou gazeux, selon l'influence de la chaleur sur la cohésion propre aux atomes (*Physique*, § 24).

2. Les corps simples ne contiennent qu'une espèce d'atomes. D'après cette hypothèse, nous pouvons nous faire de ces corps les figures suivantes :

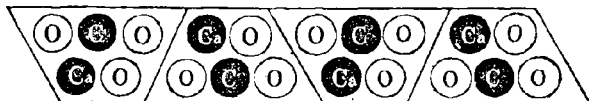


3. Les atomes des différents corps simples ont une pesanteur différente, et leur poids correspond aux chiffres des équivalents déjà connus des corps simples. D'après cela, un atome d'hydrogène a le poids le plus faible = 1; un atome d'oxygène pèse 8, etc. Pour les corps simples, *poids atomique* et *équivalent* sont par conséquent des expressions synonymes.

4. Les combinaisons chimiques ou les corps composés se produisent quand des atomes de corps simples différents s'attirent réciproquement et se groupent comme le représentent les figures suivantes :



Un groupe d'atomes différents réunis chimiquement se nomme une *molécule*. La molécule est par conséquent la particule la plus petite d'un corps composé, et elle est divisible en différents atomes. Un morceau de craie ou de marbre se composerait donc d'abord de molécules de carbonate de chaux et pourrait se représenter par la figure :



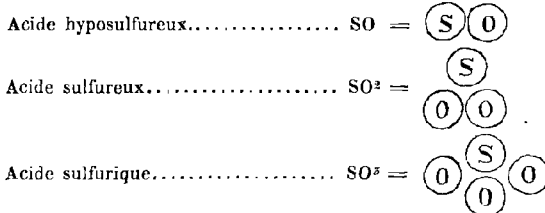
136. En admettant la théorie atomique, la plupart des faits et des lois chimiques que nous avons exposés jusqu'ici trouvent une explication satisfaisante; ainsi tout d'abord la loi des équivalents chimiques. Dans le cinabre nous trouvons toujours 100 parties en poids de mercure combinées avec 16 parties de soufre; si cette proportion de poids se trouve dans une grande masse de cinabre, il faut aussi que chaque partie plus petite, même la plus fine poussière de cinabre, soit composée d'après les mêmes proportions. En vertu de la théorie atomique, il ne peut en être autrement, car la plus petite poussière imaginable de cinabre est une molécule = HgS , composée de 1 at. mercure pesant 100 et 1 atome soufre pesant 16. Dans les formules chimiques, les signes n'indiquent plus seulement les quantités relatives en poids sous lesquelles les corps simples se combinent, mais ils expriment aussi le nombre d'atomes qui constituent la molécule du corps composé. La formule du carbonate de chaux $CaO.CO_2$, nous dit qu'une molécule de ce corps renferme 5 atomes, dont 3 d'oxygène, 1 de calcium et 1 de carbone; elle nous dit en outre de quelle manière on peut se représenter le groupement de ces atomes, qui forment d'abord la chaux, CaO , et l'acide carbonique, CO_2 , pour constituer ensemble un groupe de second ordre.

D'après cette manière de voir, les expressions, équivalents et atomes, chiffres d'équivalents et poids atomiques, sont entièrement synonymes.

C'est surtout la loi des *proportions multiples* (§ 17) qui a engagé à admettre la théorie atomique. Le soufre et l'oxygène se combinent dans les proportions de poids suivantes :

	Soufre.	Oxygène.
1. Acide hyposulfureux.....	16	+ 8
2. Acide sulfureux.....	16	+ 16
3. Acide sulfurique.....	16	+ 24

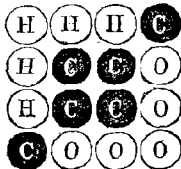
Les atomes de soufre = $\textcircled{\text{S}}$, en se combinant avec des atomes d'oxygène = $\textcircled{\text{O}}$, donnent :



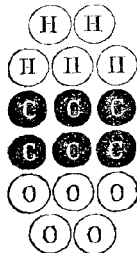
Nous comprenons maintenant pourquoi, lors de chaque degré d'oxydation supérieur du soufre, l'oxygène augmente subitement du chiffre 8; cela dépend de ce qu'il s'ajoute au degré inférieur un *nouvel atome d'oxygène*. Comme les atomes sont des grandeurs indivisibles, le soufre et l'oxygène ne peuvent pas se combiner en une proportion quelconque, par exemple, 16 parties de soufre avec 9, 10 ou 11 parties d'oxygène; ils ne le peuvent que dans des proportions qui correspondent aux poids de leurs atomes.

Examinons maintenant les faits de l'isomérisie au point de vue de la théorie atomique. Le sucre, l'amidon et le ligneux sont bien réellement des matières différentes, et pourtant chacune d'elles contient les mêmes quantités en poids de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, correspondant à la formule $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$. D'où provient cette différence? Nous n'avons d'autre explication pour ce fait, si ce n'est d'admettre que dans les molécules de ces trois corps les atomes des corps simples sont disposés d'une manière différente, comme par exemple, dans les figures suivantes :

Une molécule de sucre.



Une molécule d'amidon.



Une molécule de ligneux.



Mais qu'on n'oublie pas que ces dessins ne sont qu'imaginaires et n'ont d'autre but que celui d'expliquer un arrangement différent; car il est de

toute impossibilité de distinguer matériellement les atomes, ni par eux-mêmes, ni dans leur arrangement mutuel.

Enfin, la théorie atomique nous aide encore à expliquer cet *isomorphisme* dont nous avons parlé à propos de l'alun (§ 93). Nous avons montré alors que la forme cristalline d'une série de combinaisons restait identique, tandis que la composition se modifiait; quand, par exemple, l'alumine de l'alun était remplacée par de l'oxyde de chrome ou de l'oxyde de fer, ou bien, quand la potasse était remplacée par la soude ou l'ammoniaque. Figurons-nous, par conséquent, qu'un cristal quelconque se compose de 4 atomes (fig. 66); et que nous en enlevions un, pour le remplacer par l'atome de même grandeur d'un autre corps (fig. 67): il n'y a pas de

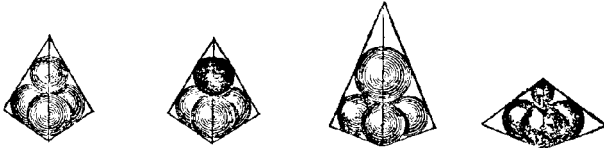


Fig. 66.

Fig. 67.

Fig. 68.

Fig. 69.

raison pour que le cristal change de forme. Mais si le nouvel atome était plus grand (fig. 68) ou plus petit (fig. 69), on comprend qu'il devrait en résulter une modification essentielle dans la forme.

On a essayé de rechercher la grandeur relative des atomes, ou bien ce qu'on nomme le *volume atomique* ou le *volume spécifique* des corps, en divisant le poids atomique par la pesanteur spécifique du corps. On a trouvé de cette manière que les volumes spécifiques des corps étaient ou bien égaux entre eux ou qu'ils étaient entre eux dans des rapports très-simples. Pour les corps solides et liquides, cette régularité est moins marquée; cependant pour beaucoup d'entre eux il existe encore sous ce rapport un accord remarquable. C'est ainsi, par exemple, que le fer, le manganèse et le chrome, qui possèdent sans cela déjà des analogies frappantes et qui forment notamment des composés isomorphes, ont un volume spécifique identique. Le même rapport existe entre le soufre et le sélénium, entre l'or et l'argent.

137. Théorie des volumes. Jusqu'ici nous n'avons toujours considéré que les *rapports en poids*, dans lesquels les éléments se combinent. Pourtant, si l'on compare les *volumes*, dans lesquels les corps gazeux ou ceux qui peuvent se réduire en vapeurs se combinent, on trouve encore une grande régularité; car ils s'unissent dans des rapports très-simples. C'est ainsi, par exemple, que 1 vol. de chlore gazeux s'unit avec 1 vol. de gaz hydrogène pour former 2 vol. de gaz acide chlorhydrique; 2 volumes

d'hydrogène avec 1 volume d'oxygène forment 2 vol. vapeur d'eau; 3 vol. d'hydrogène se combinent avec 1 vol. d'azote pour former 2 vol. d'ammoniaque. Comme on le voit, le volume de la combinaison formée peut être égal à la somme des volumes des gaz combinés, ou bien il y a eu condensation dans un rapport simple avec cette somme. Les poids relatifs de volumes égaux de corps gazeux se nomment leurs *poids spécifiques*. C'est ainsi, par exemple, que 1 vol. de chlore pèse 2,458 grammes, tandis qu'un volume égal d'hydrogène pèse 0,0693 gramme. Il est donc indifférent que l'on réunisse les deux gaz dans ces rapports de poids ou bien à volumes égaux. Mais comme nous avons déjà enseigné, § 13, que 1 équiv. chlore = 35,5 parties en poids se combine avec 1 équiv. d'hydrogène = 1 partie en poids, il faut que les poids spécifiques de ces corps simples soient dans le même rapport que leurs équivalents. En effet, nous voyons que $2,548 : 0,0693 = 35,5 : 1$. Si nous pouvions réduire tous les corps simples à l'état gazeux, les poids relatifs de volumes égaux représenteraient en même temps leur équivalent chimique. Mais pour autant qu'on a pu le faire, l'observation a démontré que cet accord entre les poids spécifiques et les équivalents chimiques des corps simples n'est pas complet; et la loi qui en a été déduite s'exprime de la manière suivante : Des volumes égaux de gaz ou de vapeurs renferment des quantités en poids proportionnelles aux poids équivalents, soit directement soit dans un rapport très-simple.

138. La chaleur spécifique et les équivalents chimiques des corps simples ont entre eux un rapport remarquable. D'après le § 156 de la *Physique*, on entend par chaleur spécifique des corps les quantités relatives de chaleur nécessaires pour élever leur température de 0° à 100°, et on prend pour unité = 1 la chaleur que l'eau exige à cette fin. Plus donc la chaleur spécifique d'un corps est grande, plus son équivalent chimique est petit, de sorte que les chiffres qui expriment la chaleur spécifique des corps simples sont en raison inverse de ceux exprimant leur équivalent, ainsi que le démontrent ci-contre quelques exemples :

	Équivalent.	Chaleur spécifique.
Hydrogène.....	= 1	3,2
Soufre.....	= 16	0,202
Fer.....	= 27	0,118
Mercure.....	= 101	0,033

D'après cette loi, l'équivalent d'un corps multiplié par sa chaleur spécifique doit donner pour tous les corps un produit identique, savoir le nombre 3,2. En effet, $1 \times 3,2 = 3,2$; ensuite, $16 \times 0,202 = 3,2$; $27 \times 0,118 = 3,2$, etc. Si donc l'équivalent d'un corps, par exemple, du plomb, était inconnu, si l'on connaissait, par contre, sa chaleur spéci-

fique 0,031, le nombre 3,2 divisé par 0,031 devra donner son équivalent. En effet, $\frac{3,2}{0,031} = 105$, chiffre qui s'accorde avec l'équivalent du plomb trouvé par voie analytique. C'est ainsi que s'offrent diverses voies pour confirmer l'ordre qui règne en tout.

139. Décomposition des combinaisons organiques. Au moyen de la théorie atomique, nous jetons pour ainsi dire un regard dans la structure intime de chaque corps ; nous voyons que celui-ci est composé d'une infinité d'atomes qui sont de même nature dans les corps simples et de nature différente dans les corps composés. Dans ces derniers, nous découvrons des groupes d'atomes réunis en molécules, et celles-ci s'arrangent de nouveau, d'après des lois déterminées, en cristaux de forme diverse.

Lorsque après cela on compare les composés inorganiques avec les composés organiques, on trouve chez les premiers des groupes d'atomes beaucoup plus petits que chez les derniers ; autrement dit, la molécule d'un composé inorganique renferme en général un plus petit nombre des divers atomes que celle d'un composé organique. Une molécule d'acide carbonique CO^2 a trois atomes, une molécule d'acide citrique $C^{12}H^8O^{14}$ en contient 34.

En admettant cette supposition comme fondée, on peut expliquer de cette manière différentes particularités que l'on remarque dans les combinaisons organiques comparées aux combinaisons inorganiques. D'abord il est plus facile de grouper un petit nombre d'atomes en une molécule, qu'un grand nombre. En effet, les composés inorganiques peuvent être composés facilement et directement avec leurs éléments. Le carbone pendant la combustion se combine directement avec l'oxygène en formant de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique.

Il en est tout autrement des combinaisons organiques. Nous savons bien, par exemple, que dans 100 livres de sucre, il y a 42 livres de carbone, 6 livres d'hydrogène et 51 livres d'oxygène, cependant il nous est impossible de produire directement du sucre en réunissant ces matières dans les proportions citées. Il en est de même d'une foule d'autres combinaisons, par exemple, de l'acide acétique, de l'acide citrique, de l'alcool, etc., qui sont tous formés des trois mêmes éléments, dont nous connaissons exactement les poids proportionnels et que nous ne pouvons cependant pas composer directement. Ce ne serait à la vérité pas un mince avantage, si nous étions en état de composer, avec des matériaux de prix si peu élevé que le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, une grande série de corps organiques précieux.

Si nous nous demandons pourquoi on ne réussit pas, nous en trouvons la raison dans la manière particulière dont sont composés les corps orga-

niques. Pour former un de ces corps, il faut que beaucoup d'atomes divers se groupent en une molécule et pour cela, il faut des conditions particulières, qui se trouvent dans l'organisme de la plante et de l'animal où ces corps se produisent, mais que nous sommes dans l'impossibilité de remplir à l'aide de nos appareils et de nos opérations chimiques.

Ce n'est que dans ces derniers temps que l'on est parvenu à composer de leurs éléments certaines combinaisons organiques, par exemple, l'alcool, $C^4H^6O^2$, sans le secours de produits organiques. Mais le procédé employé à cet effet est très-compiqué et très-difficile, et prouve précisément la difficulté de grouper autant d'atomes en une combinaison chimique.

Une conséquence de cette composition particulière des combinaisons organiques, c'est la facilité avec laquelle elles se décomposent. Lorsque des molécules d'eau, H^2O , d'oxyde de mercure, HgO , de craie, $CaO.CO^2$, et d'autres subissent une influence qui les décompose, le phénomène est simple et facile à comprendre. Mais supposons, par contre, une molécule de sucre, $C^6H^{12}O^6$, soumise à des influences décomposantes, les atomes de leurs éléments peuvent former un grand nombre de groupes de combinaisons chimiques nouvelles.

C'est ce qui a effectivement lieu. Il suffit d'une légère impulsion pour qu'autant d'atomes accumulés dans une molécule tombent en plusieurs groupes plus petits. L'exemple le plus connu de cette transformation nous est fourni par l'amidon, $C^6H^{10}O^5$; il est très-facile de le transformer en sucre, qui est isomère avec lui. Le sucre, sous l'influence de la fermentation, se convertit en alcool et en acide carbonique; de l'alcool on peut obtenir de l'acide acétique, ainsi qu'un grand nombre d'autres composés organiques.

Les moyens décomposants, que l'on fait principalement agir sur les composés organiques, pour en produire la transformation ou la métamorphose, sont des acides forts et des bases fortes, des substances oxydantes, telles que l'acide azotique, l'acide chromique, les peroxydes et le chlore. La chaleur aussi décompose les matières organiques en donnant naissance à des séries entières de produits. Une particularité non moins remarquable dans les combinaisons organiques est la *décomposition dite spontanée*. Nous voyons fréquemment que des corps organiques, sous l'influence de l'oxygène atmosphérique et de l'eau qu'ils renferment, subissent une modification profonde, dont la marche se traduit par des phénomènes très-ordinaires, savoir, par la fermentation, la putréfaction, etc.

140. Substitution. Lorsqu'on fait agir du chlore sur une combinaison organique, il arrivera ou bien que le chlore se combinera directement avec elle, ou bien qu'il lui enlèvera de l'hydrogène pour former avec celui-ci de l'acide chlorhydrique. Dans ce dernier cas, qui est le plus ordinaire,

une quantité de chlore équivalente à l'hydrogène enlevé viendra remplacer celui-ci dans la combinaison. Ce qu'il y a de remarquable en cela, c'est que les caractères chimiques de la combinaison dans laquelle il est entré du chlore, n'éprouvent par là aucune modification essentielle. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut enlever à l'acide acétique, $C^4H^4O^4$, sous l'influence du chlore, 3 atomes d'hydrogène, et les remplacer par du chlore, et le produit, l'acide chloracétique $C^4HC^3O^4$, offre une grande analogie avec l'acide acétique. Ce remplacement de l'hydrogène par du chlore a été désigné par le nom de *substitution*, et on a trouvé que celle-ci se faisait encore par d'autres corps simples, tels que le brome et l'iode, et même par des corps composés.

141. Radicaux composés. On nomme *radicaux composés* des combinaisons chimiques qui se comportent comme des corps simples. Dans la chimie inorganique, nous avons déjà appris à connaître comme tels le cyanogène, C^2N , et l'ammoniaque, NH^3 , le premier avec les propriétés d'un corps balogène (§ 69), le dernier avec celles d'un métal. L'analyse chimique de différentes combinaisons organiques a démontré que, parmi les atomes dont elles sont formées, un certain nombre se réunit d'une manière particulière et forme un groupe d'atomes qui doit être considéré comme la base, comme le *radical de la combinaison*. Ce groupe d'atomes réuni en radical se distingue surtout par la constance avec laquelle il se maintient et se retrouve dans toute une série de combinaisons, à laquelle elle donne un caractère particulier. Dans toutes les combinaisons on reconnaît un radical constant, auquel se sont joints plus ou moins d'atomes de l'un ou de l'autre élément.

Les études des chimistes se sont surtout portées sur l'alcool, $C^4H^6O^2$, comme étant une combinaison organique des plus connues et des plus importantes. En soumettant ce corps à l'action de différentes matières, on en a dérivé une grande série de combinaisons. L'analyse démontre que dans toutes ces combinaisons, comme dans l'alcool lui-même, il se trouve un groupe d'atomes, composé de 4 atomes de carbone et de 5 atomes d'hydrogène, C^4H^5 , ainsi qu'en témoignent les exemples suivants :

C^4H^5O	= Éther.
C^4H^5Cl	= Éther chlorhydrique.
C^4H^5I	= Éther iodhydrique.
C^4H^5S	= Sulfure d'éthyle.
$C^4H^5O.HO$	= Alcool, esprit de-vin.
$C^4H^5O.CO^2$	= Éther éthylocarbonique.
$C^4H^5O.C^4H^5O^2$	= Éther éthylocétique.

On a donc considéré le groupe d'atomes C^4H^5 comme le radical constant de ces combinaisons, et on lui a donné le nom d'*éthyle* et le signe *Ae*.

L'alcool et les combinaisons qui en sont dérivées offrent alors, sous le rapport de leur composition, une analogie remarquable avec les compositions inorganiques, comme le montre la comparaison suivante :

$C^2H^5 = Ae =$ Ethyle	$K =$ Potassium
AeO..... = Oxyde d'éthyle.	KO..... = Oxyde de potassium.
AeCl..... = Chlorure d'éthyle.	KCl..... = Chlorure de potassium.
AeI = Iodure d'éthyle.	KI..... = Iodure de potassium.
AeS... .. = Sulfure d'éthyle.	KS..... = Sulfure de potassium.
AeO.HO. . . . = Hydrate d'oxyde d'éthyle (alcool).	KO.HO.... = Hydrate d'oxyde de potassium.
AeO.CO ² ... = Carbonate d'oxyde d'éthyle.	KO.CO ² ... = Carbonate de potasse.
AeO.C ⁴ H ⁵ O ³ = Acétate d'éthyle.	KO.C ⁴ H ⁵ O ³ = Acétate de potasse.

On a trouvé dans d'autres combinaisons organiques des radicaux organiques : ainsi, dans l'esprit de bois, le *méthyle*, C^2H^3 ; dans l'alcool de pommes de terre, l'*amyle*, $C^{10}H^{14}$; dans l'acide benzoïque, un radical contenant même de l'oxygène, savoir le *benzoyle*, $C^{14}H^3O^2$; de même, dans l'acide acétique, l'*acétyle* $C^4H^3O^2$, etc.

On s'adonnait dès lors à l'espoir de ramener toutes les combinaisons organiques à un certain nombre de radicaux composés et de les considérer, sous le rapport de leur composition, comme semblables aux combinaisons inorganiques. Mais pour beaucoup de combinaisons organiques on n'a pas trouvé de radicaux, et d'un autre côté il a surgi d'autres opinions et d'autres théories sur la composition des combinaisons organiques.

142. Séries homologues. Au fur et à mesure que les nouvelles découvertes de combinaisons organiques se multipliaient, il se forma insensiblement ce qu'on nomme des *séries homologues*, particulièrement propres à classer des groupes entiers de corps, tant d'après leurs propriétés physiques et chimiques que d'après leur composition. Un regard jeté sur de pareilles séries démontre immédiatement leur importance.

SÉRIE DES ACIDES.

SÉRIE DES ALCOOLS.

Acide formique.....	$C^2 H^2 O^4$	Esprit de bois ou alcool méthyliq.	$C^2 H^4 O^2$
Acide acétique.....	$C^4 H^4 O^4$	Esprit-de-vin ou alcool éthylique.	$C^4 H^8 O^2$
Acide propionique....	$C^6 H^6 O^4$	Alcool propylique.....	$C^6 H^8 O^2$
Acide butyrique.....	$C^8 H^8 O^4$	Alcool butylique.....	$C^8 H^{10} O^2$
Acide valérianique....	$C^{10} H^{10} O^4$	Alcool amylique.....	$C^{10} H^{12} O^2$
.....
Acide margarique....	$C^{24} H^{24} O^4$	Aethal.....	$C^{22} H^{34} O^2$
Acide stéarique.....	$C^{36} H^{36} O^4$		

Chaque membre suivant d'une série homologue est égal à celui qui précède $-\frac{1}{2} CH$ et les combinaisons rapprochées par leur composition possèdent des propriétés correspondantes. Ces séries homologues offrent encore cet autre avantage que l'on peut exprimer leur composition par

une formule générale. C'est ainsi, par exemple, que $C^nH^{2n}O^4$ est la formule générale pour la série d'acides, et $C^nH^{2n+2}O^2$, celle des alcools. Ces formules ne viennent pas seulement en aide à la mémoire, mais elles sont encore d'un grand secours pour représenter d'une manière générale des modes de décomposition et de composition communs aux membres d'une série. Quelques lacunes dans les séries homologues indiquent en outre que l'on doit s'attendre à la découverte du membre manquant. Enfin, il existe entre la place du membre dans la série et son point d'ébullition des rapports réguliers. Pour chaque fois 2 atomes de carbone et d'hydrogène qu'une combinaison contient en plus qu'une autre combinaison de la même série, le point d'ébullition est de 15° Réaumur plus élevé que dans la dernière. Par exemple :

Acide formique.....	$\rightarrow C^2H^2O^4$	.....	80° R
Acide acétique.....	$= C^4H^8O^4$	80 + 15 =	95° »
Acide propionique..	$= C^6H^{10}O^4$	.....	110° »
Acide butyrique....	$= C^8H^{14}O^4$	110 + 15 =	125° »

113. La *théorie des types* établit pour toutes les combinaisons chimiques, tant organiques qu'inorganiques, trois formes principales ou *types*, d'après lesquels elle cherche à expliquer toutes les décompositions et les rapports mutuels. Ces types sont :

TYPE I :	TYPE II :
$\left. \begin{array}{l} H \\ H \end{array} \right\} \text{correspondant à un double} \\ \text{atomique ou à une double molécule d'hydrogène.}$	$\left. \begin{array}{l} H \\ H \end{array} \right\} O^2 \left\{ \begin{array}{l} \text{correspondant à deux molécules d'eau.} \end{array} \right.$
TYPE III :	
$\left. \begin{array}{l} H \\ H \\ H \end{array} \right\} N. \text{ correspondant à une molécule d'ammoniaque.}$	

En remplaçant dans ces formules les éléments par d'autres corps simples ou par des radicaux composés, on en dérive toutes les autres combinaisons chimiques, de sorte que, dans cette manière de voir, il faudrait changer totalement le mode d'écrire les formules. Un développement plus ample de cette théorie appartient à la chimie scientifique.

114. *Division de la chimie organique.* C'est en vain que l'on a cherché jusqu'ici à présenter les matières de la chimie organique dans un ordre basé sur des principes théoriques. Que l'on prenne pour base la théorie des radicaux, des séries homologues ou des types, aucune n'est suffisante. Il reste toujours un nombre assez considérable de substances dont le caractère chimique est encore indéterminé, ou bien si peu prononcé, qu'il est impossible de les classer systématiquement. On a, pour

cette raison, maintenu une division dite naturelle, d'après laquelle nous présenterons la chimie organique divisée en 4 sections : 1° les acides organiques; 2° les alcools et les corps qui en dérivent; 3° les bases organiques; 4° les corps organiques indifférents. Notons aussi que l'on se sert encore le plus généralement des formules et des expressions qui correspondent à la théorie des radicaux.

1. ACIDES ORGANIQUES.

145. Beaucoup d'acides organiques sont contenus dans les suc de différentes parties végétales, notamment des fruits, et leur communiquent une saveur agréablement acide; aussi ces acides sont-ils souvent ajoutés à nos mets. D'autres acides organiques sont des parties constituantes ou des produits de la décomposition des graisses, des résines ou d'autres matières végétales et animales. Bien que beaucoup de ces acides jouissent de propriétés acides très-prononcées et forment avec les bases les plus fortes des sels complètement neutres, l'acide sulfurique les sépare cependant de ces combinaisons. Ils sont ou volatils, ou fixes. On les prépare généralement en saturant le liquide qui les contient avec de la chaux, en desséchant le sel de chaux produit, en traitant ensuite celui-ci par de l'acide sulfurique et en recueillant l'acide organique devenu libre, soit par la distillation, soit par la filtration.

Un autre mode de préparation usité pour les acides non volatils consiste à combiner l'acide avec l'oxyde de plomb et à décomposer dans l'eau le sel de plomb ainsi obtenu par de l'acide sulhydrique. On obtient alors un précipité insoluble de sulfure noir de plomb, tandis que l'acide reste dissous dans l'eau, dont on le retire par la filtration. Pour les acides organiques qui se rencontrent plus fréquemment, on se sert souvent, au lieu de leurs formules, de signes particuliers composés de la lettre initiale de leur nom latin avec une barre transversale au-dessus.

1. ACIDE OXALIQUE, $C^2O^5.HO$.

Acidum oxalicum; signe : \overline{O} .

146. Le suc des rumex et de l'oseille contient du *bioxalate de potasse* $KO + 2\overline{O}$, que l'on en retire en cristaux incolores et qui se nomme vulgairement *sel d'oseille*. L'acide par lui-même, aussi bien que le sel d'oseille, forme avec les oxydes de fer des sels très-facilement solubles; c'est pourquoi on s'en sert fréquemment pour enlever les taches d'encre. On les emploie encore dans la teinturerie. Le plus souvent l'acide oxalique

se prépare par voie artificielle, en chauffant du sucre ou de l'amidon avec de l'acide azotique. A raison de sa composition plus simple, on peut encore ranger cet acide dans les composés inorganiques. L'acide oxalique et ses sels solubles sont vénéneux.

2. ACIDE FORMIQUE, $C^2H^3O^3.HO$.

Acidum formicum; signe : \overline{F} .

147. Les fourmis contiennent un acide assez caustique, qui doit être une arme considérable pour ce petit peuple. Cet acide se rencontre encore dans les orties et dans les aiguilles de pin. On ne le connaît mieux que depuis qu'on est parvenu à le préparer artificiellement par la distillation d'un mélange de sucre, de peroxyde de manganèse et d'acide sulfurique. A l'état le plus concentré, l'acide formique est un liquide incolore, volatil, d'une odeur piquante, d'une saveur caustique; il produit sur la peau presque instantanément une vésicule semblable à celle qui résulte d'une brûlure. On emploie, sous le nom d'esprit de fourmis, une solution de cet acide dans l'alcool, pour déterminer une irritation sur la peau.

4. ACIDE ACÉTIQUE, $C^4H^3O^3.HO$.

Acidum aceticum; signe : \overline{A} .

148. Dans les sucs des végétaux ainsi que dans les liquides animaux, l'acide acétique ne se rencontre qu'uni à des bases, et il est assez rare. Mais il se produit très-facilement, lorsque de l'alcool ou d'autres liqueurs spiritueuses fermentées sont exposées au contact de l'air dans certaines conditions, ou bien quand on soumet des matières végétales, surtout du bois, à la distillation sèche. Nous décrirons par la suite en détail ces deux productions.

L'acide acétique le plus pur, le plus concentré, forme à 0° C. de beaux cristaux limpides, qui ne fondent de nouveau qu'à 16° C. au-dessus de zéro. Il est volatil; son odeur et sa saveur sont d'une fraîcheur très-agréable; c'est pourquoi on l'emploie étendu de beaucoup d'eau, sous le nom de *vinaigre*, dans la préparation des mets.

Parmi les sels que forme l'acide acétique nous mentionnerons :

L'acétate de plomb, $PbO.C^4H^5O^5 + 3HO$, s'obtient en dissolvant de l'oxyde de plomb dans du fort vinaigre et en faisant cristalliser le sel ainsi formé. Il a une saveur sucrée : on le nomme pour cette raison *sucre de plomb* ou de *Saturne*. A cause de sa solubilité dans l'eau, on l'emploie pour la préparation de la plupart des autres sels d'oxyde de plomb, par

exemple, du chromate de plomb, de la céruse; il est surtout encore employé dans la teinturerie. En faisant bouillir une solution de sucre de Saturne avec de l'oxyde de plomb, on obtient une *sous-acétate de plomb*, $3PbO.C^4H^3O^5$; sa dissolution a des propriétés très-alkalines, et s'emploie en médecine sous le nom d'*extrait de Saturne* pour la guérison de plaies, etc. Quand on étend l'extrait de Saturne de beaucoup d'eau, on obtient de l'eau blanche, dite de *Goulard*. Une addition de sucre de Saturne favorise à un haut degré la dessiccation des couleurs à l'huile. Le sucre de Saturne est un violent poison.

L'*acétate de cuivre*, $CuO.C^4H^3O^5 + HO$, se rencontre dans le commerce sous le nom de *verdet*, *cristaux de Vénus*, et sous forme de cristaux d'un vert foncé; il se produit quand on dissout de l'oxyde de cuivre dans de l'acide acétique. Le *vert-de-gris ordinaire* est un acétate bibasique de cuivre, $2CuO.C^4H^3O^5.6HO$; il se forme quand le cuivre vient en contact avec du vinaigre; on l'obtient en plongeant des lames de cuivre dans du marc de raisin. Il constitue une couleur vert bleu qui est également vénéneuse.

L'*acétate de potasse* et l'*acétate d'ammoniaque* sont souvent employés en médecine pour activer les fonctions de la peau.

4. ACIDE BUTYRIQUE, $C^8H^7O^5.HO$.

Acidum butyricum; signe: \overline{But} .

149. L'acide butyrique libre se trouve dans le fruit de la ceratonia siliqua, qu'on nomme encore *caroube*; uni avec de la glycérine, il s'en rencontre dans le beurre; il se produit dans quelques phénomènes de fermentation et de décomposition, principalement du sucre, et il se trouve par conséquent dans les produits de ces fermentations, par exemple, dans la choucroute, dans les cornichons et dans le fromage acide. Lorsqu'on laisse pendant quelques semaines, et à température de $33^{\circ} C.$, une solution de sucre dans laquelle on a mis de la poudre de craie et un peu de fromage en putréfaction, il se forme du *butyrate de chaux*, dont on sépare l'acide butyrique par l'acide sulfurique. Cet acide est liquide, très-aigre, d'une odeur pénétrante, semblable à celle de l'acide acétique, et bout à $157^{\circ} C.$; le *butyrate d'ammoniaque* a une odeur nauséuse ressemblant à l'odeur de sueur.

5. ACIDE VALÉRIANIQUE, $C^{10}H^9O^5.HO$.

Acidum valerianicum; signe: \overline{Val} .

150. Cet acide se trouve dans la racine de la valériane, *valeriana officinalis*; il se forme dans la putréfaction des matières animales et fait partie

constituante du fromage; il est liquide, incolore, a l'odeur forte et caractéristique de la valériane et bout à 176° C. Ses sels sont employés en médecine.

LES ACIDES GRAS.

6. L'ACIDE MARGARIQUE, $C^{52}H^{84}O^3.HO.$

151. Se rencontre dans presque toutes les graisses du règne animal et végétal, et on le prépare ordinairement avec l'huile d'olive; il cristallise en paillettes ayant l'éclat de la nacre de perle et fondant à 62° C.

7. L'ACIDE STÉARIQUE, $C^{56}H^{108}O^3.HO.$

Se rencontre ordinairement et concurremment avec l'acide précédent dans le suif; il cristallise en paillettes d'un éclat argentin et fond à 70° C. Il rougit les couleurs végétales bleues.

8. L'ACIDE OLÉIQUE, $C^{56}H^{108}O^3.HO.$

Est renfermé dans la plupart des graisses et huiles. Il est liquide, incolore, inodore et sans saveur.

LES GRAISSES.

152. Elles se trouvent toutes formées dans les corps organiques et n'ont pu jusqu'ici être préparées artificiellement. Elles sont ou solides ou liquides et présentent dans leurs propriétés chimiques une grande analogie qu'elles proviennent soit du règne animal, soit du règne végétal. Chaque corps gras se compose d'un élément acide, l'*acide gras*, combiné avec un corps indifférent, nommé la *glycérine*.

L'acide gras peut être liquide et se nomme alors *acide oléique*, ou bien il est solide et se nomme *acide stéarique* ou *margarique*. La plupart des graisses sont des mélanges de combinaisons de ces acides avec la glycérine, et la solidité ou la fluidité d'une graisse dépend de la prédominance de l'acide stéarique ou de l'acide oléique.

Pour l'économie humaine, les graisses ont une extrême importance. Dans ses mets, elles constituent principalement l'élément calorificateur; c'est pourquoi les habitants de l'extrême Nord en consomment des quantités extraordinaires. D'après leur usage, les graisses forment les groupes suivants : servent comme *aliments* : l'huile d'olive, l'huile de pavot, l'huile de noix, l'huile de madia, le beurre, le saindoux, le suif, etc.; comme *combustible* pour l'éclairage : l'huile de colza, de chanvre, l'huile de pois-

son, le suif, etc.; pour les *savons* : l'huile d'olive, de colza, de chanvre, de palmier, de coco, l'huile de poisson et le suif; pour *emplâtres* : l'huile d'olive, le saindoux; pour *verniss et couleurs à l'huile* : l'huile de lin, l'huile de noix, de pavot et de chanvre.

Les corps gras se caractérisent par leur insolubilité dans l'eau, l'alcool et les acides; par contre, ils sont solubles dans l'huile volatile du goudron de houille, huile nommée benzine, dans l'huile de térébenthine, dans l'éther et dans les alcalis caustiques; ils sont avidement absorbés par les corps poreux, ainsi que par l'argile et la terre à foulon. Sur le papier, ils laissent une tache de graisse qui ne disparaît pas par la chaleur, car les corps gras ne sont nullement volatils. Sous l'influence de la chaleur et de certaines actions chimiques, il se forme dans différentes graisses des acides gras particuliers et volatils, qui ont une odeur *rance* fort désagréable. L'odeur caractéristique des différentes graisses dépend toujours de la présence d'un acide gras volatil particulier, parmi lesquels l'*acide butyrique* est le plus connu. C'est pourquoi il faut, dans l'extraction de toutes les graisses et huiles servant à l'alimentation, éviter une forte chaleur. Sous l'influence d'une température élevée, les graisses se décomposent en gaz combustibles, et il se forme en même temps une matière volatile, l'*acroléine*, d'une odeur extrêmement désagréable; elle attaque le nez et les yeux : elle se fait sentir dans la vapeur désagréable qui s'échappe d'une chandelle de suif qu'on vient d'éteindre.

La plupart des graisses, exposées à l'air, sont à un haut degré inaltérables et restent à l'état de liquide épais pendant des années. Quelques huiles cependant s'épaississent en absorbant de l'oxygène et forment un vernis résineux; on les nomme pour cette raison des *huiles siccatives*, parmi lesquelles l'huile de lin est la plus importante. Les huiles obtenues par l'expression des semences contiennent toujours certaines quantités d'eau et de mucilage végétal, qui sont un grand obstacle à leur emploi pour l'éclairage. Par le repos prolongé ou bien en les secouant avec un peu d'acide sulfurique, et les clarifiant ensuite par le repos, on obtient une huile purifiée, délivrée de ces matières.

Les graisses sont plus légères que l'eau, et surnagent sans se mélanger avec elle. Cependant, lorsqu'on triture préalablement une huile avec un mucilage gommeux épais ou avec du blanc d'œuf, et qu'on y ajoute ensuite de l'eau, l'huile reste suspendue dans le liquide sous forme de gouttelettes extrêmement petites. Le liquide ainsi obtenu se nomme une *émulsion* et a l'aspect du lait. En effet, le lait des mammifères, le suc laiteux de certaines plantes, ainsi que le lait d'amande ou l'orgeat, se composent de gouttelettes de graisse tenues en suspension par un véhicule dans un liquide aqueux. Mais par un repos prolongé, tous ces mélanges finissent par se séparer en leurs éléments.

153. Les savons sont des combinaisons des acides gras avec la potasse ou la soude. On distingue principalement deux espèces de savons, savoir : les *savons mous* et *liquides*, composés d'acide oléique et de potasse, et les *savons solides*, contenant de l'acide stéarique combiné avec la soude. Leur préparation est identique : ces fortes bases se mettent à la place de la *glycérine* et mettent celle-ci à nu. A cette fin, le savonnier se procure d'abord une *lessive* caustique (§ 75), en versant de l'eau sur un mélange de chaux vive et de carbonate de soude. En faisant bouillir longtemps la lessive avec le suif, la saponification a lieu : il se produit une masse gélatineuse, nommée la *pâte du savon*, qui contient une grande quantité d'eau, dont le savon doit être débarrassé. C'est pourquoi on ajoute du sel de cuisine, qui forme avec l'eau une solution concentrée et pesante qui gagne le fond de la chaudière, tandis que le savon surnage et devient solide par le refroidissement. Plus la saponification et la séparation du savon ont été complètes, plus le savon est solide et dur. Mais on peut ajouter au savon 10 à 50 p. c. d'eau ou de lessive faible, et l'incorporer pendant le refroidissement : on obtient ainsi les savons polis et renflés, qui ont naturellement d'autant moins de valeur qu'ils contiennent plus d'eau. Cette circonstance rend l'appréciation du savon extrêmement difficile et donne lieu à de grands abus dans le commerce. En y intercalant des couleurs, on obtient des savons marbrés et colorés, ce qui n'offre pourtant aucun avantage réel. Le savon est soluble dans l'eau pure ainsi que dans l'alcool. Pourtant, ordinairement la solution aqueuse de savon donne un liquide trouble appelé l'eau de savon, parce que le *stéarate de soude* se décompose en un sel basique et en un sel acide insoluble, et que ce dernier est mis à nu. Une autre raison du trouble du liquide est la présence de la chaux dans l'eau.

La combinaison de l'acide stéarique avec la *chaux* est solide et insoluble dans l'eau. Lorsqu'on met par conséquent du savon de soude dans de l'eau contenant de la chaux, il se forme un savon de chaux insoluble qui se dépose en flocons blancs. Une telle eau n'est donc pas bonne pour laver, mais on peut la rendre bonne à cet usage en y ajoutant un peu de lait de chaux, en la décantant et en y ajoutant une solution de soude jusqu'à ce que le liquide se trouble. Les acides décomposent les savons, en mettant à nu leur acide insoluble ; c'est sur ce principe que repose la préparation des acides gras dont nous avons parlé au § 151. Un savon est d'autant meilleur qu'on peut en séparer davantage d'acide gras, qu'il perd moins de poids par la dessiccation, et que le résidu, qu'on obtient par sa dissolution dans l'alcool ou par son incinération, est plus petit. C'est par ce dernier moyen qu'on peut constater des falsifications avec l'argile, le spath pesant, l'amidon, le sable, la pierre ponce, etc.

Les *emplâtres* sont des combinaisons d'acide oléique avec l'oxyde de

plomb. On les obtient en chauffant de l'huile d'olive avec de la litharge ou du minium. A une température plus basse, on obtient l'emplâtre de plomb blanc ; à une chaleur plus forte, au contraire, l'emplâtre brun, connu sous le nom d'*emplâtre de la mère*.

154. Les bougies stéariques sont un mélange d'acide stéarique et d'acide margarique. Pour les fabriquer, on prépare d'abord un savon de chaux en saponifiant du suif par le lait de chaux. On décompose ensuite le stéarate et le margarate de chaux par l'acide sulfurique, qui forme avec la chaux du plâtre, et les acides gras sont mis à nu. Par la pression, on débarrasse ceux-ci de l'acide oléique, puis on en forme des bougies en y ajoutant un peu de cire. Cette dernière a pour but d'ôter la transparence et l'aspect cristallin que les bougies auraient sans cela. Comme produits accessoires, on obtient de la *glycérine* et de l'*acide oléique* ; ce dernier est utilisé pour la fabrication des savons.

155. La glycérine, $C^6H^5O^3$, est un liquide incolore et inodore, de la consistance d'un sirop, d'une saveur douce, sucrée ; elle n'est pas susceptible de la fermentation alcoolique ; elle est soluble dans l'eau et l'alcool, insoluble dans l'éther. A l'air, elle se colore à la vérité en brun, mais, à part cela, elle est inaltérable, et on l'a recommandée pour le graissage ainsi que pour la conservation de substances organiques, même des mets. Chauffée, elle donne l'acroléine avec son odeur affreuse.

156. La cire se range, d'après ses propriétés, à côté des graisses. On la rencontre comme produit du règne végétal dans le pollen des fleurs et dans d'autres parties des plantes, mais souvent colorée en brun ou en rouge par des résines ou des matières colorantes qui y sont mélangées. Outre cela, les organes digestifs des abeilles sont doués de la faculté de transformer le miel en cire, qui, jointe à celle qu'ils recueillent sur les fleurs, sert à ces petits animaux à la construction de leurs cellules. En faisant fondre celles-ci, on obtient la cire crue, de couleur jaune et d'une odeur caractéristique, provenant toutes deux en partie du miel. Pour la blanchir, on la réduit en fines lames, on l'humecte et on l'expose à l'influence du soleil. Ainsi purifiée, elle est incolore, inodore et insipide, insoluble dans l'eau, difficilement soluble dans l'alcool bouillant, assez soluble au contraire dans l'éther chaud.

La densité de la cire est de 0,96 ; elle fond à 68° C. Semblable aux graisses, la cire se compose en grande partie d'une matière saponifiable par une lessive de potasse, nommée *cérine*, et d'un autre corps, nommé *mérycine*. La cire a des usages fréquents en médecine, dans la fabrication des bougies, etc. La cire d'arbre, nommée aussi cire chinoise ou japonaise,

s'obtient par la décoction de l'écorce et des fruits de plusieurs arbres, et ressemble dans ses propriétés principales à la cire d'abeilles.

9. ACIDE BENZOÏQUE, $C^{14}.H^5.O^3.HO$.

Acidum benzoicum; signe : \overline{Bz} .

157. Cet acide s'obtient par sublimation du benjoin sous forme d'aiguilles cristallines, fines et incolores. Il offre un intérêt particulier à cause de ses rapports avec d'autres combinaisons. Lorsqu'on distille des amandes amères avec de l'eau, on obtient l'*huile d'amandes amères*, qui a une odeur particulière très-agréable, mais qui est très-vénéneuse, à cause de l'acide prussique qu'elle contient. On lui enlève ce dernier en la traitant par de l'hydrate de chaux et une solution de fer. L'huile purifiée possède encore l'odeur d'amandes amères, mais elle n'est plus vénéneuse; sa composition est $C^{14}H^6O^2$. Soumise à l'action de l'oxygène, elle en absorbe 2 équivalents et se transforme en *acide benzoïque*, $C^{14}H^6O^2 + 2O = C^{14}H^5O^3.HO$.

Lorsqu'on soumet à la distillation de l'acide benzoïque avec de l'hydrate de chaux on obtient comme produit un liquide incolore, nommé *benzine*, $C^{12}H^6$, qui se trouve également dans les produits de la décomposition de la houille et des huiles par la chaleur. Traitée par de l'acide azotique, la benzine forme un liquide oléagineux, nommé *nitrobenzine*, $C^{12}H^5NO^4$, qu'à cause de son odeur agréable d'amandes amères on emploie dans la parfumerie sous le nom d'essence de Mirban.

10. ACIDE LACTIQUE, $C^6H^4O^4.2HO$.

Acidum lacticum; signe : \overline{L} .

158. Cet acide se rencontre tout formé dans certaines matières végétales et animales, ou bien il ne se forme que plus tard par la décomposition de celles-ci. Il se trouve dans le suc gastrique, se forme ensuite comme produit de la décomposition du sucre de lait dans le lait aigre, dans le jus de la choucroute et dans d'autres objets mis au vinaigre, les cornichons, par exemple. L'acide lactique se forme en abondance quand on abandonne à ce qu'on nomme la fermentation lactique une solution de sucre, à laquelle on a ajouté de la craie et un peu de fromage en putréfaction, à une température de 30° C.; mais si l'opération continue plus longtemps, il se produit de l'acide butyrique. Il n'est pas cristallisable, d'une saveur fortement acide et n'a pas d'usage spécial. C'est à sa présence cependant que le petit lait aigre doit son emploi pour enlever les taches de certains tissus. Après la mortification totale de la substance musculaire

on y trouve un acide libre, nommé *paralactique*, à cause de sa ressemblance avec l'acide lactique.

11. ACIDE MALIQUE, $C^8H^4O^8, 2HO.$

Acidum malicum; signe : \overline{M} .

159. Presque tous les fruits aigres, et notamment les pommes et les fruits du sorbier des oiseaux, contiennent cet acide, qu'on extrait ordinairement de ces derniers fruits. Il est cristallisable, très-acide et sans application spéciale. -

12. ACIDE TARTRIQUE, $C^8H^4O^{10}, 2HO.$

Acidum tartaricum; signe : \overline{T} .

160. Cet acide se trouve principalement dans le jus des raisins et représente, à l'état pur, des cristaux incolores d'une saveur très-acide. C'est surtout sa combinaison avec la potasse qui est importante; c'est elle qui, sous le nom de tartre, se dépose en croûte grise sur les tonneaux dans lesquels on laisse reposer le jeune vin. Le tartre purifié est blanc de neige, et sa poudre est souvent employée en médecine sous le nom de *crème de tartre*. Le tartre est du bitartrate de potasse, $KO.HO + C^8H^4O^{10}$. En teinture, on emploie souvent l'acide tartrique comme caustique. Le sel double de *tartrate de potasse et de tartrate d'antimoine* = $KO.SbO^3.C^8H^4O^{10} + HO$, est fort en usage en médecine sous le nom de *tartre stibié* ou *émétique*.

13. ACIDE CITRIQUE, $C^{12}H^8O^{14}, 3HO.$

Acidum citricum; signe : \overline{C} .

161. Cet acide se rencontre, à l'état libre, surtout dans les citrons, mais il existe encore dans les groseilles et dans d'autres fruits. Il se distingue par une saveur acide très-agréable; il forme des cristaux en forme de colonnes, et est employé comme le précédent dans la teinture. Ces deux acides servent en outre à la préparation de limonades, de poudres effervescentes et d'eaux gazeuses (§ 58).

14. ACIDE TANNIQUE, $C^{54}H^{19}O^{51}, 5HO.$

Acidum quercitanicum; signe : \overline{Q} .

162. Cet acide est extrêmement répandu dans le règne végétal, et on peut admettre que toutes les matières végétales qui ont une saveur *astringente* contiennent de l'*acide tannique*. Il en est ainsi pour les écorces d'arbres, surtout pour l'écorce de chêne, ensuite pour les feuilles

du sumac, pour les pelures de nos fruits. Les noix de galle surtout renferment l'acide tannique à l'état le plus pur et en quantité abondante; extrait de celles-ci, l'acide tannique se présente sous forme d'une poudre jaunâtre d'une saveur extrêmement astringente; ses propriétés acides sont tellement faibles, que le nom de *tannin* qu'on lui donne vulgairement est tout aussi convenable. L'acide tannique par lui-même est employé en médecine comme astringent tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, surtout dans le cas d'hémorrhagies.

Une propriété remarquable de l'acide tannique, c'est de former avec les sels d'oxyde de fer une combinaison violet foncé ou noire, qui sous le nom d'*encre* fournit incontestablement à un des premiers besoins de notre siècle. On prépare de l'encre en faisant chauffer 3 onces de noix de galle pulvérisée avec une once de sulfate de fer dans 2 ou 3 pintes d'eau. On ajoute en même temps une once de bois de Campêche et une once et demie de gomme arabique pour épaissir un peu le liquide. Des dissolutions analogues servent pour teindre les différents tissus en noir, en gris ou en violet.

Quand on veut s'assurer si une eau de source contient du fer, on suspend au moyen d'un fil, pendant une nuit, une noix de galle dans un verre rempli de cette eau. S'il se trouvait dans l'eau seulement une trace de fer, la noix de galle sera environnée d'une couche ou d'une zone violette. Lorsqu'on coupe du fruit avec un couteau, les acides, qui n'y manquent jamais, dissolvent un peu de fer qui, se combinant avec l'acide tannique contenu surtout dans la pelure du fruit, apparaît sur le couteau sous forme d'un composé de couleur violette ou noire. Le vin contenant de l'acide tannique, mélangé avec une eau minérale ferrugineuse, prend également une couleur violette.

Les solutions de gélatine et d'acide tannique se précipitent mutuellement; le précipité qui se forme est incolore, floconneux et insoluble dans l'eau.

L'acide tannique doit son nom à la propriété importante de transformer la peau animale en *cuir*; il est donc essentiellement nécessaire pour le tannage, dont nous parlerons plus tard.

Certains produits de la décomposition de l'acide tannique sont remarquables. Quand on le fait bouillir avec de l'acide sulfurique étendu, il se décompose en une matière sucrée nommée *glucose* et en *acide gallique* $C^{14}H^{6}O^{10}$. Ce dernier se forme encore par une espèce de fermentation de l'acide tannique, quand on laisse quelque temps des noix de galle humectées d'eau. L'acide gallique cristallise en aiguilles incolores, forme avec les solutions de fer des précipités noirs; mais ne précipite pas la gélatine. Il enlève rapidement leur oxygène aux oxydes métalliques, surtout aux sels d'argent, en se transformant lui-même en une substance noire,

ressemblant à de l'humus. C'est surtout l'*acide pyrogallique*, que l'on obtient par la sublimation de l'acide gallique, qui possède cette propriété à un haut degré. L'emploi de ces deux acides dans la photographie (§ 127) est basée sur cette propriété.

15. ACIDE HIPPERIQUE, $C^{18}H^8NO^5.HO.$

163. Cet acide se trouve dans l'urine des mammifères herbivores, surtout du cheval, mais aussi dans l'urine de l'homme. Il cristallise en belles colonnes et en aiguilles tétraédriques incolores. Bouilli avec des alcalis ou des acides affaiblis, il se décompose en *acide benzoïque* et en *glycocolle*.

16. ACIDE URIQUE, $C^{10}H^2N^4O^4.2HO.$

164. Cet acide, riche en azote (car il en contient 33 pour cent), se trouve dans l'urine de l'homme et des animaux carnivores, mais plus abondamment encore dans l'urine des oiseaux et des amphibiens, des animaux inférieurs et dans les calculs urinaires. Pour l'obtenir, on emploie les excréments blancs et globuleux des serpents, qui se composent d'acide urique presque pur; on emploie aussi pour cela la fiente d'oiseaux, connue sous le nom de *guano*, dont 100 livres donnent 2 livres d'acide urique. Celui-ci est blanc, sans odeur et sans saveur: il cristallise en petites aiguilles ou paillettes; il est très-difficilement soluble dans l'eau. L'acide urique offre surtout un intérêt scientifique particulier par la quantité extraordinaire de produits de décomposition qui en dérivent. Le plus remarquable de ceux-ci est la *murexyde* ou *purpurate d'ammoniaque*, $C^{16}H^8N^6O^{12}$, consistant en magnifiques aiguilles cristallines brillantes, d'un vert doré, qui se dissolvent dans l'eau avec une belle couleur pourpre, devenant violette si l'on ajoute de la potasse. La murexyde se produit lorsqu'on chauffe d'abord de l'acide urique avec de l'acide azotique, qu'on évapore ensuite et qu'on y ajoute du carbonate d'ammoniaque. Ce procédé sert également à reconnaître de petites quantités d'acide urique. La murexyde est employée dans la teinturerie.

17. ACIDE FULMINIQUE, $C^4N^2O^2.2HO.$

165. On ne le reconnaît qu'en combinaison avec les oxydes, il est un produit de la décomposition de l'alcool. Le *fulminate de mercure* ou *mercure fulminant* se décompose par la percussion, le frottement ou la chaleur, avec une détonation violente et une explosion terrible; on l'emploie mélangé avec du soufre et du salpêtre pour remplir les capsules à percus-

sion. Pour l'obtenir, on mélange 11 parties d'alcool à 85° C. avec une dissolution de 1 partie de mercure dans 12 parties d'acide azotique; ce mélange étant exposé à une chaleur douce, il s'y fait une vive décomposition, et après le refroidissement il se dépose des cristaux blancs de ce sel, qui est une substance extrêmement dangereuse.

2. ALCOOLS ET LEURS DÉRIVÉS.

166. On entend par alcools la série citée au § 142 de combinaisons homologues qui correspondent à la formule générale $C^nH^{n+2}O^2$ et qui, tant sous le rapport de leurs propriétés que sous celui des produits auxquels elles donnent naissance, offrent une analogie et des correspondances frappantes. C'est ainsi que chaque alcool, par la perte de 2 équiv. d'hydrogène, se transforme en une combinaison qu'on nomme l'aldéhyde de l'alcool donné; lorsque celui-ci prend 2 équiv. d'oxygène il se produit un acide correspondant à l'alcool employé. D'après l'opinion émise au § 144, les alcools sont des *hydrates d'oxydes* de radicaux composés. Ces *oxydes* reçoivent la dénomination générale d'*éthers*; leurs combinaisons avec des acides se nomment *éthers composés*. Ces dénominations proviennent de l'alcool, le premier et le plus anciennement connu, qu'on obtient de l'esprit-de-vin. Nous commencerons également par l'étude de celui-ci, bien qu'il ne soit que le second membre de la série.

1. ALCOOL ÉTHYLIQUE, $C^2H^6O^2$.

167. C'est celui qui se nomme principalement alcool; son nom théorique est *hydrate d'oxyde d'éthyle*, $C^2H^6O.HO$; par *esprit-de-vin*, on entend de l'alcool qui contient 45 pour cent d'eau.

L'alcool ne se rencontre nulle part tout formé dans la nature : il est le produit ordinaire de la décomposition du sucre par la *fermentation*, que nous décrirons plus amplement plus tard. Lorsque l'alcool s'est formé dans les liqueurs fermentées, on soumet celles-ci à la distillation dans des appareils appropriés. L'alcool est plus volatil que l'eau contenue dans ces liquides, et distille donc en premier lieu. Par une distillation répétée sur de la chaux vive, on peut le débarrasser complètement de son eau; on le nomme alors *esprit-de-vin absolu*, ou *anhydre* ou *alcool*. Ce dernier est incolore, d'une odeur stimulante agréable et d'une saveur brûlante. Sa densité est de 0,79; son point d'ébullition est de 78° C.; à 90° au-dessous de zéro, il ne congèle pas encore. Beaucoup de substances solubles dans l'eau, surtout les sels, sont insolubles dans l'alcool: celui-

cidissout, par contre, la plupart des résines et des huiles volatiles. L'alcool brûle avec une flamme peu lumineuse, sans fumée, et pour cette raison on l'emploie fréquemment comme combustible. Il a une grande affinité pour l'eau, qu'il attire même de l'air. Quand on place des matières animales ou végétales humides dans de l'alcool, celui-ci leur enlève toute l'eau, les dessèche pour ainsi dire et les préserve de la putréfaction. L'action caustique que l'alcool exerce sur la bouche et sur l'estomac dépend de ce qu'il enlève l'eau à la superficie de ces organes. Il exerce sur les nerfs une action particulière que nous désignons sous le nom d'ivresse.

L'alcool se mêle avec l'eau en toutes proportions. Un tel mélange qui contient de 80 à 85 pour cent d'alcool se nomme ordinairement *esprit-de-vin*, tandis que ce qu'on nomme *eau-de-vie* ne contient que 40 à 50 p. c. d'alcool. Il est très-important, dans les relations, de pouvoir d'une manière facile déterminer la force, c'est-à-dire, la quantité d'alcool d'un tel mélange. On se sert à cet effet d'instruments dits *aréomètres*, *alcoolomètres* ou *pèse-liqueurs*. Comme l'alcool a une densité inférieure à celle de l'eau, le même corps doit plonger naturellement plus profondément dans l'alcool absolu que dans l'eau. On marque sur le tube figuré ci-contre (fig. 70), le point jusqu'où il plonge dans l'eau par 0°, le point plus élevé jusqu'où il plonge dans l'alcool absolu par 100. On fait ensuite des mélanges de 1, 2, 3, 4... jusqu'à 99 parties d'alcool avec 99, 98, 97, 96... jusqu'à 1 partie d'eau. On obtient de cette manière 100 divers liquides contenant de 0 à 100 p. c. d'alcool. L'aréomètre descendra d'autant plus profondément dans un de ces liquides, que celui-ci contiendra davantage d'alcool. En plongeant successivement le tube de verre dans tous ces mélanges, et en marquant chaque fois le point jusqu'où le tube descend, on obtient une échelle qui indique exactement le pour cent d'alcool que contient un mélange quelconque d'esprit-de-vin avec de l'eau.

Les instruments ainsi établis se nomment des alcoolomètres centésimaux : ils sont dus à MM. Gay-Lussac et Tralles, et sont maintenant employés presque partout pour les déterminations légales.

Malheureusement, cette division si convenable n'a pas toujours été suivie ; *Cartier*, *Baumé*, *Beck* et d'autres ont divisé l'échelle en un nombre arbitraire de degrés égaux. Une description plus ample de ces instruments et de leur confection nous mènerait trop



Fig. 70.

loin ; nous nous contenterons de donner un tableau comparatif des différents aréomètres, qui peut utilement se placer ici :

POIDS SPÉCIFIQUE.	VOLUMES D'ALCOOL pour cent GAY-LUSSAC ET TRALLÉS.	POIDS D'ALCOOL pour cent A 45°,6 CENTIGR.	DEGRÉS d'après CARTIER.	DEGRÉS d'après BECK.	DEGRÉS d'après BAUMÉ.
1,000	0	0	10	0-	10
0,991	5	4,0	»	»	»
0,983	10	8,0	12	»	»
0,980	15	12,1	»	3	13
0,975	20	16,2	»	»	»
0,970	25	20,4	14	5	»
0,964	30	23,6	15	6	15
0,958	35	28,9	»	»	16
0,951	40	33,4	»	9	17
0,942	45	37,9	18	»	»
0,933	50	42,5	»	12	20
0,923	55	47,2	21	14	»
0,912	60	52,2	»	16	24
0,901	65	57,2	24	19	»
0,889	70	62,5	27	»	28
0,876	75	67,9	»	24	»
0,863	80	73,5	30	27	32
0,848	85	79,3	33	30	33
0,833	90	85,7	»	34	38
0,815	95	92,4	40	38	42
0,793	100	100,0	44	44	48

L'alcool était déjà connu au XIII^e siècle par les Arabes : c'est d'eux qu'il a reçu son nom. Dans le principe, il n'était employé que comme médicament, usage auquel il sert encore aujourd'hui de diverses manières ; mais il a reçu en outre une foule d'applications dans les arts. Sous le rapport scientifique, il est dans la chimie organique la substance la mieux étudiée et la plus importante à cause de la série, indiquée au § 141, de ses produits et des théories qui s'y rattachent. Nous n'étudierons ici que quelques-uns de ceux-ci, parce qu'ils sont employés.

168. L'éther, $C^4H^{10}O$, ou oxyde d'éthyle, AeO , s'obtient lorsqu'on soumet à la distillation un mélange de 3 parties d'acide sulfurique et de 2 parties d'alcool, mais en ajoutant continuellement de l'alcool au fur et à mesure que l'éther distille. L'alcool dans cette opération se décompose en eau et en éther, $AeO + HO$. L'éther est un liquide limpide, très-volatil, d'un poids spécifique de 0,71. Il bout déjà à 35° C. et il se con-

gèle à -44° C. Il possède une odeur très-pénétrante et stimulante, généralement connue par les *gouttes d'Hoffmann*, qui ne sont qu'un mélange d'une partie d'éther et de 2 parties d'alcool. L'éther ne se mélange pas avec l'eau, ne dissout presque aucun sel, mais dissout, par contre, presque toutes les résines, les huiles volatiles et les graisses. Il est employé en médecine et pour beaucoup d'opérations chimiques. L'inhalation de vapeurs d'éther détermine un état de perte de connaissance et de sensibilité (anesthésie) dont on tire parti pour certaines opérations douloureuses. L'évaporation rapide de l'éther donne lieu à un grand froid. Autrefois on désignait encore l'éther sous le nom de *naphte* ou d'*éther sulfurique*. Ce dernier nom est surtout impropre, car l'éther ne contient pas de soufre.

169. Éthers composés. On comprend sous cette dénomination les combinaisons d'acides inorganiques et organiques avec l'éther. On les obtient en général par la distillation de l'alcool avec un de ces acides. Ce sont pour la plupart des liquides volatils d'un parfum particulier, souvent très-fin et d'une saveur aromatique; il est probable que la plupart des espèces de fruits ainsi que les boissons obtenues par la fermentation doivent leur arôme à la présence d'une ou de plusieurs espèces d'éthers.

En médecine on emploie : l'*éther azoteux*, un mélange d'azotite d'oxyde d'éthyle, $AeO.NO^3$, avec de l'alcool, d'une odeur très-agréable, rappelant la pomme reinette; l'*éther chlorhydrique*, un mélange de chlorure d'éthyle, $AeCl$, avec de l'alcool; l'*éther acétique*, $AeO.C^2H^3O^3$, d'une odeur très-agréable, se rencontre dans le vin d'un certain âge.

Pour imiter le rhum, le cognac, et pour parfumer les confiseries, on emploie, sous le nom d'essences de fruits artificielles, soit pur, soit en mélange, l'*éther œnantique*, nommé encore *huile de Cognac*, qui s'obtient par la distillation du vin avec de la lie de vin; l'*éther butyrique*, $AeO.C^8H^7O^3$, d'une odeur prononcée d'ananas et appelé encore pour cette raison *huile d'ananas*; l'*éther valérianique*, doué de l'odeur du rhum.

170. L'aldéhyde, $C^4H^4O^2$. Lorsqu'on soumet à la distillation de l'alcool avec de l'acide sulfurique et du peroxyde de manganèse, l'oxygène de ce dernier enlève à l'alcool 2 équiv. d'hydrogène et on obtient un liquide d'une odeur caractéristique d'éther et de la composition indiquée plus haut. En absorbant 2 équivalents d'oxygène, ce liquide se transforme en *acide acétique*, $C^4H^4O^4$; l'aldéhyde est donc l'intermédiaire constant de la transformation des liquides spiritueux en acide acétique. Quand on chauffe dans un ballon de l'aldéhyde avec une dissolution d'argent et de l'ammoniaque, l'argent est réduit à l'état métallique et vient s'appliquer sur les parois intérieures du vase en formant de celui-ci un miroir.

2. ALCOOL MÉTHYLIQUE, $C^2H^4O^2$.

171. Sous le nom d'*esprit de bois*, on obtient, par la distillation sèche du bois, une liqueur volatile, inflammable, que l'on purifie et débarrasse d'eau pour obtenir l'*hydrate d'oxyde de méthyle* ou l'*alcool méthylique*, $C^2H^3O.HO$. Sa pesanteur spécifique est de 0,814; il bout à 60,5° C. et correspond, pour ses propriétés chimiques, entièrement à l'alcool éthylique; son odeur est extrêmement spiritueuse, mais désagréable, et les produits qui en dérivent n'ont pas d'usages remarquables. L'esprit de bois brut contient 15 pour cent d'eau et est employé, en Angleterre surtout, comme combustible.

Le *chloroforme*, C^2HCl^3 , se forme par la distillation d'esprit de bois et d'esprit-de-vin affaiblis avec du chlorure de chaux. (Voy. § 88.) Il est incolore, d'une odeur d'éther agréable, d'une saveur douce, d'un poids spécifique de 1,48; il bout à 61° C. L'inhalation de sa vapeur détermine la perte de connaissance et de sensibilité (l'anesthésie): c'est pourquoi on l'emploie fréquemment dans les opérations chirurgicales.

3. ALCOOL AMYLIQUE, $C^{10}H^{12}O^2$.

172. Ou bien *hydrate d'oxyde d'amyle*, $C^{10}H^{14}O.HO$, se forme à côté de l'alcool éthylique dans la fermentation des liquides contenant du sucre, surtout dans la distillation de l'alcool de pommes de terre. À l'état brut, on le nomme *essence de pommes de terre*. Purifié, c'est un liquide huileux, d'une odeur désagréable et d'une saveur caustique. Son poids spécifique est de 0,818; son point d'ébullition à 132° C.; il est inflammable et n'a par lui-même aucune application. Mais dans le commerce on trouve, sous le nom d'*essence de pommes*, le valérienate d'amyle mélangé avec de l'alcool, et l'*essence de poires*, qui est un mélange d'éther acétique et d'acétate d'amyle.

3. BASES ORGANIQUES.

173. Certaines matières végétales ont depuis longtemps attiré l'attention, soit par leur saveur d'une amertume remarquable, soit par les effets qu'elles exercent sur l'organisme, et ont acquis ainsi la réputation de médicaments précieux. Nous citerons comme exemples l'écorce de quinquina et l'opium. Les recherches des temps modernes vinrent démontrer que toute la masse de ces substances ne possédait pas une action égale, qu'elle se composait pour la plus grande partie de matières inertes, telles que cellulose, résine, gomme, etc., tandis que l'élément vraiment efficace n'en constituait qu'une minime partie.

C'est le chimiste allemand *Serturmer* qui, en 1804, parvint le premier à extraire de l'opium son élément actif, et bientôt après on découvrit de semblables matières également dans d'autres plantes. Quand on les eut obtenues pures, on reconnut qu'elles se comportaient comme des bases, parce qu'elles avaient une réaction alcaline et qu'elles formaient, avec les acides, des sels incolores, d'une cristallisation évidente et d'une neutralité complète. C'est donc avec raison qu'on appela ces combinaisons des *bases végétales* ou des *alcaloïdes*.

Toutes les bases végétales renferment de l'azote et possèdent les propriétés générales suivantes : elles sont incolores, pour la plupart d'une saveur extrêmement amère, difficilement solubles dans l'eau, par contre, solubles dans l'alcool et quelques-unes également dans l'éther. Elles exercent pour la plupart, même à très-petite dose, sur l'organisme animal et végétal des effets très-violents; quelques-unes sont même de terribles poisons. Elles sont surtout employées dans la médecine, qui a retiré de leur découverte des avantages notables. Tandis qu'auparavant, par exemple, le févreux devait avaler bien des onces de quinquina en poudre, il prend aujourd'hui avec facilité quelques grains de quinine pour se délivrer de la fièvre. Il y a encore cet avantage que le médicament se trouve débarrassé d'autres éléments qui troublent fréquemment l'effet de la base active. C'est ainsi que l'écorce de quinquina contient beaucoup d'acide tannique astringent, et l'opium une matière stupéfiante, qui rendent quelquefois leur emploi totalement inopportun, là où ces bases par elles-mêmes peuvent se donner avec le plus grand succès.

La préparation des bases végétales se fait à peu près de la manière suivante : On fait bouillir la matière végétale qui en contient, avec de l'eau contenant un peu d'acide sulfurique. On obtient un sulfate soluble, qu'on décompose en y ajoutant un alcali ; alors la base organique, difficilement soluble, se précipite au fond du vase. Elle est encore colorée, on la dissout de nouveau dans de l'acide affaibli, on la traite par de nouvelles cuissons et précipitations jusqu'à ce qu'elle soit complètement incolore. On extrait aussi l'alcaloïde du précipité au moyen de l'alcool bouillant, on le décolore au moyen du noir animal et on le purifie par la cristallisation. Si simples que paraissent ces procédés, ils offrent néanmoins dans la pratique assez de difficultés, surtout l'enlèvement des matières colorantes, et demandent beaucoup de précaution et d'expérience.

Dans le règne animal, les bases organiques se rencontrent plus rarement; nous n'en connaissons jusqu'ici que peu qui aient cette origine. Celles-ci aussi bien que les alcaloïdes végétaux sont des combinaisons quaternaires renfermant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote.

Par contre, il s'offre une série immense de bases ternaires artificielles

qui ne renferment pas d'oxygène et s'obtiennent soit par la distillation sèche de corps organiques azotés, soit par une décomposition spéciale de certaines combinaisons.

174. Alcaloïdes du règne végétal. La *quinine*, $C^{40}H^{24}N^2O^4$, se prépare avec les différentes espèces de quinquina, dont quelques-unes renferment jusqu'à 3 pour cent de quinine; elle cristallise en aiguilles soyeuses, brillantes, se dissout dans 200 parties d'eau; la solution a un reflet bleuâtre, une saveur extrêmement amère et est précipitée par le tannin. Comme remède le plus efficace contre la fièvre intermittente, on emploie le sulfate de quinine. Son prix est de fr. 9. les 50 grammes.

La *morphine*, $C^{34}H^{19}NO^6 + 2HO$, s'extrait de l'opium, qui en fournit 12 pour cent; elle cristallise en colonnes rhomboïdales; elle est très-amère, agit d'une manière narcotique et toxique, et forme, avec une solution de sels de fer, une coloration bleu foncé. En médecine, on emploie surtout l'acétate de morphine.

La *strychnine*, $C^{42}H^{22}N^2O^4$, est renfermée dans plusieurs parties d'arbres qui croissent dans l'Amérique du Sud et qui appartiennent au genre *strychnos*. On la retire des fruits de ces arbres, nommés *fèves de Saint-Ignace* et *noix vomiques*. Elle cristallise en colonnes à quatre pans qui, mis en contact avec de l'acide sulfurique ou du chromate de potasse, prennent une belle coloration violette. La strychnine a une saveur horriblement amère: c'est le plus violent poison; elle agit sur la moelle épinière, détermine le tétanos et ne peut être employée en thérapeutique qu'à des doses extrêmement petites.

La *caféine*, $C^{16}H^{10}N^4O^4$. Cette faible base végétale cristallise en fines aiguilles soyeuses et ne se trouve, chose remarquable, pas seulement dans le café, mais encore dans le thé, d'où lui vient également le nom de *théine*, ainsi que dans le thé du Paraguay, tandis que dans la fève de cacao se trouve la *théobromine*, matière homologue très-proche, $C^{14}H^8N^4O^4$. C'est sans doute sur cette propriété commune de contenir de la caféine que les boissons préparées avec les matières citées ont trouvé un usage aussi répandu et qu'elles sont devenues des besoins de la vie. Prise à l'intérieur, la caféine augmente l'activité de la circulation, détermine des palpitations du cœur, des tremblements et de la surexcitation; par contre, on lui attribue également l'effet de ralentir le mouvement de composition et de décomposition dans l'organisme.

Les bases végétales suivantes ne renferment pas d'oxygène :

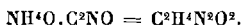
La *conine*, $C^{16}H^{15}N$, qui s'extrait de la ciguë (*conium maculatum*); c'est un liquide huileux, volatil, d'une odeur pénétrante et stupéfiante; il est extrêmement vénéneux.

La *nicotine*, $C^{10}H^7N$, s'extrait des feuilles de tabac (*nicotiana*); c'est

également un liquide huileux, incolore, volatil, très-vénéneux et d'une odeur pénétrante.

175. Les alcaloïdes du règne animal. La *créatine* $C^8H^9N^3O^4 + 2HO$, fait partie constituante de la chair des animaux vertébrés; elle est très-difficilement soluble, cristallise en colonnes brillantes et limpides; elle n'est qu'une base très-faible.

L'*urée*, $C^2H^4N^2O^2$, se trouve dans l'urine des animaux carnivores, dont elle constitue de 5 à 10 pour cent. Elle est inodore, facilement soluble dans l'eau, cristallise en longues colonnes incolores; elle a le goût du salpêtre. L'urée peut être préparée artificiellement de diverses manières au moyen d'autres corps. Le cyanate d'ammoniaque, $NH^4O.C^2NO$, se transforme par la chaleur seule en urée,



La *glyocolle*, $C^4H^5NO^4$, se forme comme produit de la décomposition de diverses matières animales, surtout de la gélatine, lorsqu'elles sont traitées par des acides et des alcalis; elle a une saveur douce et a pour cette raison reçu le nom de sucre de colle.

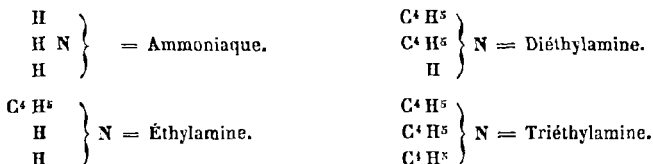
La *leucine*, $C^{12}H^{15}NO^4$, semblable à la précédente, se forme dans le fromage en putréfaction et se trouve dans différentes parties du corps animal; elle se forme aussi simultanément avec la glyocolle dans des circonstances semblables.

176. Bases organiques artificielles. Bien que du plus haut intérêt pour les progrès de la chimie scientifique, elles n'offrent jusqu'ici que peu d'applications pratiques. Dans leur grand nombre, nous choisirons pour exemples les suivantes :

L'*aniline*, $C^{12}H^7N$, s'extrait du goudron de houille et dans la décomposition de l'indigo par la potasse. C'est un liquide huileux, incolore d'une densité de 1,02, d'une odeur faible, non désagréable; elle est faiblement alcaline et bout à 184° C.; elle donne à la solution de chlorure de chaux une coloration violet pourpre. Avec les acides, elle forme des sels cristallisables, dont les solutions colorent fortement en jaune le bois de sapin. Par des moyens oxydants on prépare avec l'aniline de magnifiques couleurs bleue, violette et rouge, dont on se sert beaucoup dans la teinturerie. On peut dériver de l'aniline une grande série de produits par substitution (§ 140).

Un groupe nombreux de bases appartenant à cette catégorie dérive de l'ammoniaque, lorsqu'on fait agir sur cet alcali les combinaisons du chlore, de l'iode, du brome, avec les radicaux des alcools, par exemple, lorsqu'on fait chauffer de l'ammoniaque avec de l'iodure d'éthyle C^2H^5J .

Tous ces corps ont généralement des propriétés semblables à celles de l'ammoniaque et peuvent, d'après la théorie des types indiquée au § 143, être considérés comme des ammoniaques artificielles, où les atomes d'hydrogène sont remplacés par les radicaux des alcools, par exemple, l'éthyle, le méthyle, l'amyle, etc. Voici comment on les nomme et comment on écrit leurs noms :



Ce qu'il y a de remarquable dans la *triéthylamine*, c'est qu'elle a l'odeur du hareng; elle se forme quand on distille certaines bases organiques avec de la potasse; pourtant, elle se trouve toute formée dans la saumure de harengs et dans le *chenopodium foetidum*.

4. COMPOSÉS ORGANIQUES NEUTRES.

177. Les composés organiques que nous avons décrits dans les trois divisions précédentes étaient, soit des corps solides, cristallisables, soit des liquides possédant un point d'ébullition fixe et une densité déterminée. Ces corps, en outre, se combinaient soit entre eux, soit avec les acides, les bases ou les corps simples inorganiques en proportions de poids déterminées, de sorte que l'on possédait pour leur composition chimique des données non moins sûres que pour celle des combinaisons inorganiques. Mais nous avons à étudier maintenant toute une série de corps organiques où les caractères purement chimiques nous font de plus en plus défaut, qui portent même encore, en partie, des traces d'organisation. C'est pourquoi il n'est pas possible de classer ces corps systématiquement, et nous devons nous contenter de les réunir en certains groupes naturels. Si ces corps offrent moins d'intérêt sous le rapport théorique, ils présentent par contre une importance pratique très-grande; car c'est dans cette catégorie que se trouvent la plupart de nos principes nutritifs, ainsi que d'autres matières d'un emploi industriel extrêmement important. Nous étudierons les corps organiques neutres dans l'ordre suivant : 1° les hydrates de carbone; 2° les matières colorantes; 3° les huiles volatiles; 4° les résines; 5° les matières gélatineuses; 6° les matières albuminoïdes.

1. HYDRATES DE CARBONE.

178. Les corps appartenant à cette catégorie se composent de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et renferment les deux derniers éléments dans l'exacte proportion voulue pour former de l'eau. On pourrait donc considérer ces corps comme des combinaisons de carbone avec de l'eau, $C+HO$; c'est pourquoi on les a nommés hydrates de carbone, bien que leur mode de décomposition ne confirme pas cette appellation.

1. FIBRE LIGNEUSE, $C^{42}H^{10}O^{10}$.

179. La plus grande partie de la masse d'une plante se compose de fibre ligneuse, nommée encore *tissu cellulaire*, *cellulose*; elle forme en parties de petites cellules et en partie ce qu'on nomme les vaisseaux. Dans cette fibre ligneuse se trouvent renfermées diverses autres matières; savoir: de l'amidon, du chlorophylle, du sucre, des matières colorantes, etc. On peut débarrasser complètement la cellulose de toutes ces matières par des lavages avec de l'eau, de l'alcool, des acides et d'autres dissolutions. La composition de la fibre ligneuse pure est la suivante: 100 parties renferment 44,4 de carbone, 6,2 d'hydrogène et 49,4 d'oxygène. Chose remarquable, c'est absolument la même composition que possède la peau des animaux dits *tuniciens*.

Du coton, du chanvre et du lin blanchis, ainsi que le papier préparé avec de la toile, représentent de la cellulose à peu près pure. Elle n'est soluble ni dans l'eau, ni dans aucun des dissolvants ordinaires. Une solution de cuprate d'ammoniaque dissout la cellulose, par exemple, le coton; on peut de cette manière distinguer celle-ci dans les étoffes de soie et de laine. La cellulose est précipitée de cette solution en masse pâteuse par les acides. Elle se laisse pénétrer par les liquides aqueux, et peut absorber ceux-ci, propriété importante dont dépend la nutrition des plantes. Lorsqu'on traite du coton, de la sciure de bois ou de la paille, par de l'acide sulfurique concentré, ils se transforment d'abord en gomme, puis, par une cuisson plus prolongée, en sucre de raisin ou glucose, et ce dernier se transforme par la fermentation en alcool. Quand on plonge rapidement du papier dans l'acide sulfurique, il prend les caractères du parchemin. Lorsqu'on chauffe la cellulose avec une solution concentrée de potasse, ses atomes se groupent en acide oxalique, acide acétique et acide carbonique, qui se combinent avec la potasse. Du coton trempé pendant peu de temps dans une lessive caustique, devient plus épais, ressemble davantage à la laine et prend mieux la couleur.

Quand on traite du coton par de l'acide acétique fumant, il subit une modification remarquable, car il possède ensuite la propriété de se décomposer violemment, soit qu'on le chauffe rapidement à 50° ou 75° R., soit qu'on le percuté; de sorte qu'on peut l'employer comme force motrice pour tirer ou pour les mines et qu'on lui a donné le nom de *coton-poudre*. On le prépare en plongeant du coton pendant 4 ou 5 minutes dans un mélange de 1 partie (en poids) d'acide azotique fumant et de 1 $\frac{1}{2}$ à 2 parties acide sulfurique, en le lavant ensuite complètement et en le séchant au-dessous de 50° C. Dans le coton-poudre, nommé encore *pyroxiline*, 3 atomes H sont remplacés par 3 éq. NO⁴; il a par conséquent la composition suivante : C¹²H⁷N³O²²; cette grande quantité d'oxygène explique sa combustibilité rapide et complète.

La dissolution du coton-poudre dans l'éther se nomme encore *collodion*; c'est un liquide sirupeux; lorsqu'on l'étend en couche légère sur une surface, son dissolvant, l'éther, s'évapore rapidement et laisse sur la surface une membrane incolore, transparente et tenace. Il a trouvé de ce chef une application importante en chirurgie et en photographie.

La fibre ligneuse possède la faculté de se combiner avec certains sels basiques, surtout ceux d'alumine et d'oxyde de fer, ainsi qu'avec les matières colorantes, de telle sorte que ces corps forment à la fibre ligneuse une couche plus ou moins durable. C'est sur ce principe que repose la teinture des tissus de lin et de coton (*comp.* § 94),

Le bois, composé presque entièrement de fibre ligneuse, trouve les applications les plus nombreuses et les plus diverses, soit comme bois de construction, soit comme bois à ouvrager; il est encore d'une utilité essentielle comme combustible ainsi que par les produits de sa décomposition. Sous ce dernier rapport, nous le soumettrons à une étude plus ample quand nous traiterons de la décomposition des corps organiques, et à cette occasion, nous parlerons aussi des produits charbonneux qui, sous forme d'humus, de terreau, de tourbe, d'antracite et de houille, résultent sous des influences diverses de la décomposition de la fibre ligneuse.

2. AMIDON, AMYLUM : C¹²H¹⁰O¹⁰.

180. L'*amidon* est contenu dans un grand nombre de parties végétales : ainsi surtout dans les semences des céréales, des légumineuses, dans beaucoup de racines et de tubercules, dans les pommes de terre, dans la moelle des palmiers, dans des fruits, par exemple, dans les marrons, dans les glands, dans les pommes, et même dans l'écorce et le bois des arbres, mais en plus petite quantité.

Lorsqu'on râpe ces parties des plantes et qu'on les remue avec de

l'eau, l'amidon se dépose au fond ; on le purifie par des lavages répétés, puis on le sèche.

L'amidon est insoluble dans l'eau froide et dans l'alcool. Avec de l'eau bouillante, il gonfle en une masse gélatineuse connue sous le nom d'*empois*. Avec une très-grande quantité d'eau l'amidon forme une solution incomplète.

Peu disposé à se combiner chimiquement avec d'autres corps, l'amidon forme avec l'iode une combinaison remarquable de couleur violet foncé. Cela est si remarquable que l'on peut reconnaître par l'amidon les plus petites traces d'iode et vice versa.

L'amidon sert comme aliment ; il sert pour *empois*, pour épaissir les couleurs dans la teinture de cotons, pour empeser le linge, pour coller le papier mécanique, etc. On distingue d'après les différentes plantes dont on l'extrait différentes espèces d'amidon ou de féculé, savoir : la *féculé* de pommes de terre, celle de froment, le *sagou* extrait de la moelle des palmiers, l'*arrow-root* extrait de la racine flèche, la *cassava* ou le *tapioca*, extrait également d'une racine américaine. Toutes les espèces de féculé ont une analogie complète entre elles sous le rapport de leurs propriétés essentielles. Cependant il est souvent assez important de pouvoir distinguer des fécules d'origine différente, par exemple si l'on falsifiait de la féculé de froment par de la féculé de pommes de terre. Ici le microscope nous aide à découvrir la fraude. A un grossissement de 200, nous voyons que la féculé de pommes de terre (fig. 71) se compose de petits grains allongés sur lesquels on reconnaît des couches superposées en forme de pelures d'oignon ; ces grains se distinguent encore par leur grand volume



Fig. 71.

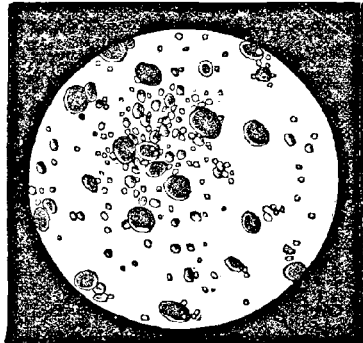


Fig. 72.

de ceux de toutes les autres fécules. La féculé de froment et de toutes les autres céréales (fig. 72) se compose de grains en forme de lentilles : il

s'en trouve de plus grands et de très-petits sans degrés intermédiaires. Les granules de la féculé de pois (fig. 73) et d'autres légumineuses sont

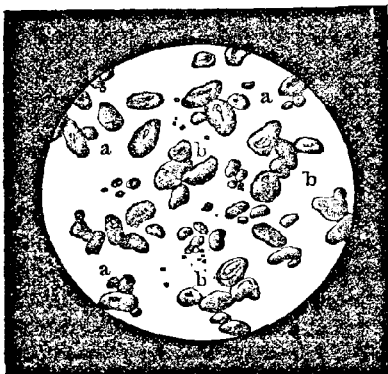


Fig. 73.

reconnaissables aux excavations particulières souvent étoilées qui se trouvent dans leur milieu.

L'amidon est important par les produits de sa décomposition. Chauffé légèrement ou plutôt grillé, il se transforme en partie en gomme soluble, s'appelle dans cet état *leucome* et est employé dans l'imprimerie sur coton. On utilise de la même manière la *gomme d'amidon* ou *dextrine*, qui se produit lorsqu'on humecte de l'amidon avec de l'acide sulfurique, et qu'on le chauffe pendant quel-

que temps. Cette dextrine possède presque toutes les propriétés de la gomme arabique. Si l'action de l'acide sur l'amidon dure plus longtemps, le dernier se convertit finalement en *sucré d'amidon*.

L'acide azotique fumant transforme l'amidon en une substance explosible.

Il est remarquable, que le grain germé renferme une substance, nommée *diastase*, douée de la faculté de transformer l'amidon en gomme et en sucre, absolument comme cela se fait à l'aide de l'acide sulfurique.

Des matières ressemblant à l'amidon sont l'*inuline*, contenue dans les tubercules des topinambours, des dahlias, des chicorées, etc.; et la *lichenine*, ou amidon de mousse, renfermée dans les lichens. Ces deux substances sont parfaitement solubles dans l'eau bouillante.

4. GOMME, $C^{12}H^{10}O^{10}$.

181. Quoique la gomme se trouve dans beaucoup de plantes, on ne la recueille ordinairement que de quelques plantes de l'Orient, appartenant à la famille des mimosa. Elle s'écoule de ces plantes par gouttes qui se dessèchent à l'air et que tout le monde connaît sous le nom de *gomme arabique*. La gomme la plus pure, l'*arabine*, est incolore, soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool; on peut donc la précipiter de ses dissolutions aqueuses par de l'alcool. On l'emploie principalement pour coller

pour mélanger aux couleurs, pour lustrer, etc., mais on la remplace très-souvent par la dextrine, qui possède la même composition et à peu près les mêmes propriétés. Traitée par l'acide azotique concentré, la gomme arabique forme l'*acide mucique*, tandis que la dextrine se transforme de cette manière en *acide oxalique*. Il faut observer que l'on comprend bien aussi sous le nom de gommes d'autres sucres végétaux desséchés; mais, au point de vue chimique, on ne comprend sous ce nom que la gomme que nous venons de décrire. A côté de la gomme se rangent :

182. Le *mucilage végétal*, renfermé dans beaucoup de matières végétales, auxquelles il donne la faculté de gonfler dans l'eau et de former un liquide gommeux, filant, qu'on emploie à différents usages, mais le plus souvent comme calmant dans la toux et les affections de poitrine. Parmi les matières qui se composent presque exclusivement de mucilage végétal ou qui en renferment en grande quantité, nous avons : la *gomme adragante*, la *gomme de cerisier*, la *racine de salep*, le *lichen d'Islande*, la *graine de lin*, les *pepins de coings*, la *racine de guimauve*.

183. La *gélatine végétale*, nommée encore *pectine*, se trouve dans le jus de la plupart des fruits et des racines. Lorsqu'on fait cuire un de ces jus, par exemple, du jus de framboise, avec du sucre, la pectine forme ce qu'on nomme la *gelée*; lorsqu'on décompose des jus semblables au moyen de l'alcool, la gélatine se sépare sous forme d'une substance transparente.

5. SUCRE.

184. Nous nommons sucres les hydrates de carbone qui ont une saveur douce, se dissolvent dans l'eau et dans l'alcool et qui, mis en fermentation par de la levure, se transforment en alcool et en acide carbonique. Le sucre est extrêmement répandu, surtout dans le règne végétal. Il y a plusieurs espèces de sucres, qui diffèrent par la quantité d'eau contenue, par la manière de cristalliser et de se comporter à la lumière polarisée, savoir : le *sucre de canne*, le *sucre de raisin* et le *sucre de lait*.

185. Le *sucre de canne*, $C^{12}H^{14}O^{11}$, est l'espèce de sucre la plus connue; c'est toujours d'elle qu'il est question quand on parle de sucre dans la vie ordinaire. Il tient son nom de la canne à sucre, dans laquelle il se trouve en abondance et qui nous le livrait exclusivement autrefois; mais il se trouve également dans d'autres plantes, dans le jus de la betterave et de l'érable, dans les tiges du maïs, dans le millet à sucre, dans les citrouilles, etc.

La canne à sucre récoltée dans les plantations des Indes orientales et occidentales est d'abord broyée, puis on en exprime le jus, qui contient environ 40 pour cent de sucre. Ce jus est décomposé par un peu de

chaux, puis chauffé, clarifié par le repos et ensuite évaporé le plus rapidement possible, afin qu'il n'entre pas en fermentation. La chaux est ajoutée dans le but d'en séparer l'albumine, ainsi que les acides végétaux contenus dans le jus. On obtient ainsi le *sucre brut*, qui, selon que sa préparation a été plus ou moins soignée, représente une poudre humide, plus ou moins colorée, qui a en même temps une odeur désagréable et une saveur impure. Pour le débarrasser de ces inconvénients, on le *raffine*, ce qui se fait le plus souvent en Europe dans de grands établissements.

La couleur du sucre brut dépend en partie de matières colorantes qui y sont mélangées, mais aussi de ce que le sucre, blanc par lui-même, subit, pendant l'évaporation, une modification essentielle, car il se convertit en partie en une espèce de sucre brun, incristallisable, qu'on nomme *glucose*. C'est pourquoi on dissout le sucre brut dans la quantité la plus petite possible d'eau, et on le cuit pendant un temps assez long avec du noir animal (§ 56), qui le décolore en grande partie. Après cela, on fait couler le liquide à travers des sacs de feutre, qui ne séparent cependant pas complètement les particules de charbon. Pour que cela ait lieu, on cuit le liquide sucré avec du blanc d'œuf ou du sang, qui contient également de l'albumine. Ce dernier, en se coagulant, entraîne toutes les impuretés que le sucre pourrait encore contenir. Le liquide est alors parfaitement clair, et on l'évapore dans la chaudière jusqu'au point où il va se cristalliser. En cet état, on le verse dans des moules coniques pourvus d'une ouverture à leur sommet. Bientôt le sucre durcit en petits cristaux granuleux, tandis que la glucose qui s'est formée dans le cours de la cuisson s'écoule sous forme d'un liquide visqueux, brun foncé, dans des vases placés au-dessous. Cette glucose est employée à divers usages, sous le nom de *sirop de sucre*, de sirop hollandais, ou de *mélasse*. Comme il reste toujours dans le sucre encore un peu de sirop colorant, on lave celui-ci en faisant peu à peu filtrer de l'eau à travers. On purifie aussi le sucre brut par l'appareil centrifuge décrit au § 68 de la *Physique*. On fait alors sortir le pain de sucre de sa forme, on le sèche, et il arrive ainsi dans le commerce sous le nom de sucre blanc ou sucre ordinaire. Lorsqu'on concentre moins la solution sucrée et qu'on la laisse pendant assez longtemps dans une chambre chaude, il forme de grands cristaux jaunes ou bruns, et se nomme *sucre candi*.

Dans la fabrication du sucre, il faut surtout veiller à ne former que le moins possible de sirop, parce que celui-ci n'a qu'une faible valeur. C'est pourquoi on cherche autant que possible à accélérer l'évaporation et à opérer celle-ci à l'abri de l'air, ainsi qu'à une température basse; pour cela la chaudière est close, et on enlève, à l'aide d'une pompe à air, les vapeurs d'eau au fur et à mesure qu'elles se forment. Une raffinerie exige donc, à côté d'un assez grand capital d'exploitation, une forte dépense pour les appareils.

En 1747, à Berlin, le chimiste *Margraf* découvrit que la betterave renferme le même sucre cristallisable que la canne à sucre. La plus riche en sucre est la betterave blanche de Silésie, nommée pour cette raison *betterave à sucre*, qui contient en moyenne 10 pour cent de sucre, quantité qui s'élève, dans des circonstances favorables, jusqu'à 12 et même 14 pour cent. Mais le jus de betteraves renferme, indépendamment du sucre, des quantités considérables de matières albuminoïdes et des sels qui rendent l'extraction du sucre tellement difficile, que, dans le principe, toutes les fabriques érigées dans ce but croulèrent. Les progrès de la physique et de la chimie ont fini par vaincre tous ces obstacles, et en Allemagne ainsi qu'en France, la plus grande partie du sucre nécessaire à la consommation est aujourd'hui produite par la betterave. On estime la production annuelle de sucre par la canne à sucre à 44 millions de quintaux; par la betterave à 4 1/2 millions de quintaux, dont 2 millions sont fabriqués dans la confédération germanique, où le besoin de sucre s'élève annuellement en moyenne à 8 livres par tête.

La fabrication du sucre de betterave est dans son essence semblable à celle du sucre de canne, que nous venons de décrire. Ou bien les betteraves sont râpées, pressées, et le jus soumis aux opérations ultérieures, ou bien, on coupe les betteraves en rondelles, et on extrait le sucre avec de l'eau, ou bien encore, on les coupe en rondelles et on les sèche. Dans ce dernier état, elles peuvent se conserver longtemps et le sucre peut en être extrait avec peu d'eau. Les mélasses des fabriques de sucre de betteraves sont distillées pour en obtenir de l'esprit-de-vin; du résidu de la distillation on extrait de la potasse. La pulpe de betteraves sert d'engrais pour la terre, d'alimentation pour le bétail et dans la fabrication du papier.

Le sucre de canne le plus pur cristallise en colonnes obliques, très-limpides. Avec la chaux, la baryte et d'autres acides métalliques, il forme des combinaisons solubles dans l'eau. Chauffé au delà de 200° C., il se transforme en une masse insipide brune, nommée *caramel*, $C^{12}H^{10}O^9$, qui se dissout dans l'eau avec une couleur jaune, presque brune, très-intense et qu'on emploie pour colorer le vin, etc.

186. Le sucre de raisin, $C^{12}H^{12}O^{12} + 2HO$, est contenu dans le jus de raisin, dans les fruits doux et dans le miel. C'est en outre le produit de la transformation subie par le sucre de canne, l'amidon, la gomme et la fibre ligneuse; sous l'influence d'acides affaiblis, il se nomme, pour cette raison, aussi *sucre d'amidon*. On prend 2 parties d'acide sulfurique, que l'on étend de 300 à 400 parties d'eau; on fait bouillir ce mélange, puis on y introduit 100 parties d'amidon trituré préalablement avec un peu d'eau. Il se forme, dans le principe, de la *dextrine* qui se convertit en sucre par la cuisson prolongée. Cette conversion est aussi complète que possible, lorsque 1 partie du liquide traitée par 6 parties d'alcool ne

forme plus de précipité, mais seulement un léger trouble du liquide. On enlève l'acide sulfurique par du carbonate de baryte ou de chaux, on clarifie ensuite et on évapore.

Le sucre de raisin pur est incolore; sa cristallisation est granuleuse; il est moins soluble dans l'eau et beaucoup moins doux que le sucre de canne; il sert à la fabrication du vin et à la falsification du sucre blanc. Mais ce sucre est surtout important par les produits fermentés qu'on en obtient, et à la fabrication desquels il sert pour la plus grande partie. La solution bleue de sulfate de cuivre chauffée avec du sucre de raisin et de la potasse, perd sa couleur, l'oxyde de cuivre se trouvant réduit à l'état d'oxydure de cuivre rouge brun.

On nomme *glucose* le sucre incristallisable qui se trouve dans le sirop, le miel et les fruits à côté d'autres espèces de sucre.

Le *sucre de lait*, $C^{12}H^{11}O^{11} + HO$, est contenu dans le lait des mammifères et s'extrait du petit-lait; il est peu soluble et d'une très-faible douceur.

Le *sucre de manne*, ou la *mannite*, dont se compose la manne, se trouve dans les sucs sécrétés de beaucoup de plantes, principalement dans les champignons; mais ce n'est pas un véritable sucre, car il n'entre pas en fermentation avec la levûre.

2. MATIÈRES COLORANTES.

187. La grande richesse en couleurs du monde végétal ne fournit proportionnellement que très-peu de matières colorantes; car la plupart des couleurs, surtout celles des fleurs, sont détruites avec une très-grande rapidité par la lumière et l'air. Les matières colorantes plus solides ont des propriétés si différentes, qu'il est impossible de les décrire d'une manière générale, et leur description isolée nous entrainerait trop loin. Ces matières sont en partie solubles dans l'eau, l'alcool ou l'éther; en partie elles se combinent avec des bases, comme des acides, surtout avec l'alumine (§ 94); le chlore les détruit toutes sans exception. Avec la laine, la soie, les tissus de lin ou de coton, les unes se lient directement, tandis que d'autres ne le font que lorsque ces tissus ont reçu ce qu'on nomme un *mordant*, c'est-à-dire un revêtement qui y fixe la couleur. Ce sont surtout des sels d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de cuivre et le chlorure d'étain qui servent à cet usage. Comme la plupart des matières colorantes ne cristallisent pas, leur composition chimique est moins déterminée que celle des autres corps organiques indifférents. Parmi les matières colorantes les plus employées dans la teinturerie, nous citerons :

Matières colorantes jaunes : la *gaude*, le *quercitron*, le *bois jaune*, le *curcuma*, le *roucou*, le *safran*.

Matières colorantes rouges : la *garance*, racine qui est incontestablement une des matières tinctoriales les plus importantes et qui donne des couleurs rouges, violettes et brunes de très-bon teint. En traitant la garance en poudre par l'acide sulfurique, la beauté et la solubilité de sa matière colorante est augmentée ; le produit ainsi obtenu se nomme *garancine*; la matière colorante pure extraite de celle-ci se nomme *alixarine* et se sublime en longues aiguilles, rouges et brillantes; le *bois de Campêche*, le *bois de Fernambouc* ou de Brésil, le *carthame*, le *bois de santal*, la *racine d'alcanna*, la *cochenille*, insecte de l'ordre des hémiptères qui, dans l'Amérique du Sud, vit sur différentes espèces de cactus et dont on prépare la belle couleur rouge-pourpre nommée *carmin*; l'*orseille* et le *persio*, préparés tous deux avec certaines espèces de lichens; le *sang-dragon*.

Les *matières colorantes vertes* sont en petit nombre; on emploie cependant le jus du nerprun sous le nom de *vert de vessie*. Les feuilles vertes des plantes doivent leur couleur à une matière résineuse, nommée *chlorophylle*, qui est impropre à la teinture.

Matières colorantes bleues : parmi celles-ci se range le *tourne-sol*, qui est extrait de certains lichens et qui est principalement employé par les chimistes pour éprouver la réaction acide ou alcaline d'un corps (§ 20).

La matière colorante la plus importante est l'*indigo*, qu'on obtient de plusieurs plantes des Indes et qui renferme de l'azote. Sa qualité principale est la solidité de sa couleur, car les acides les plus forts ne le changent pas en rouge. De l'indigo du commerce on obtient par sublimation l'indigo pur ou l'*indigotine* en cristaux d'un violet pourpre. L'indigo se dissout dans l'acide sulfurique fumant et se combine avec lui en acide *sulfo-indigotique*, qui sert à la teinture. Le carbonate de potasse précipite de cette solution une poudre bleue, composée de sulfo-indigotate de potasse et nommée *carmin d'indigo*.

Lorsque l'indigo est soumis à des agents désoxydants, par exemple l'oxyde de fer, le sucre de raisin, il se transforme en une matière soluble incolore, dite *indigo blanc*. De telles solutions se nomment, dans les ateliers de teinture, des *cuves*; les tissus qu'on y trempe prennent plus tard, par l'oxydation à l'air de la matière colorante, une belle couleur bleu indigo. L'acide nitrique concentré transforme l'indigo en une matière colorante jaune, nommée *acide picrique*.

3. HUILES VOLATILES OU ESSENCES.

188. Les huiles volatiles ou essentielles se rencontrent toutes formées dans le règne végétal; ce sont elles qui généralement communiquent des odeurs particulières aux différentes parties des plantes, notamment aux fleurs, aux feuilles et aux fruits, où elles se trouvent généralement en petites gouttelettes renfermées dans des espèces de glandes. Toutes ces essences sont liquides, et à l'état de pureté parfaite, la plupart sont incolores. Elles ont une odeur pénétrante et à peu d'exceptions près assez agréable; leur saveur est caustique. Sur le papier elles forment tache de graisse, qui disparaît cependant au bout de quelque temps, car ces huiles sont volatiles. Elles sont très-peu solubles dans l'eau, facilement solubles, par contre, dans l'alcool, l'éther et les graisses. Par rapport à leur composition chimique, elles forment deux groupes principaux, les essences du premier ne se composent que de carbone et d'hydrogène, tandis que celles du second groupe contiennent, indépendamment de ces éléments, de l'oxygène, et quelques-unes contiennent encore du soufre ou de l'azote.

A l'air, les huiles essentielles absorbent de l'oxygène, s'épaississent et se transforment en corps résineux. De beaucoup d'entre elles il se surtout par le froid, une partie solide, cristalline, qu'on nomme le *stéaroptène*. Les essences sont très-fréquemment employées. Les corps qui les renferment servent souvent d'épices, pour boissons spiritueuses, pour faire des liqueurs, des eaux parfumées; ensuite comme médicaments, usage pour lequel on se sert également des huiles essentielles elles-mêmes.

La préparation des huiles essentielles se fait ordinairement en distillant de grandes quantités du corps odorant avec de petites quantités d'eau. L'huile essentielle, qui est plus légère, surnage sur l'eau distillée.

Nous mentionnons comme les plus remarquables parmi ces essences :

L'*essence de térébenthine*, $C^{10}H^{16}$, contenue dans toutes les parties de nos arbres résineux. Cette essence est surtout importante par sa faculté de dissoudre beaucoup de résines et de former avec elles des *verniss*, qui se séchent facilement. L'essence de térébenthine est en outre le dissolvant et le délayant ordinaire du vernis d'huile de lin, dans la peinture à l'huile. Comme toutes les huiles essentielles, elle est très-inflammable et brûle avec une flamme très-fuligineuse. L'essence de térébenthine purifiée et incolore s'emploie sous le nom de *camphine* pour l'éclairage, dans des lampes d'une construction particulière.

Pour parfumerie on emploie surtout l'*essence de citron*, extraite de

l'écorce de citron ; l'essence de bergamote, de la pelure du citron bergamote ; l'essence de fleur d'oranger ; l'essence de girofle, extraite des clous de girofle ; l'essence de cannelle et de lavande ; l'essence d'amandes amères (V, § 157) et l'essence de roses, qui se prépare surtout dans l'Orient et qui est d'un prix très-élevé.

Pour aromatiser l'eau-de-vie et les liqueurs, on emploie l'essence de genièvre, l'essence d'anis, de cumin, de cannelle, de girofle et de menthe poivrée.

Parmi les essences servant de médicament, l'essence de camomille se distingue par sa belle couleur bleu foncé.

De l'huile volatile d'un laurier qui croît dans les Indes, il se sépare une partie solide, nommée *camphre*, qui est employé à l'intérieur comme excitant et stimulant. La *coumarine* est une matière semblable au camphre, d'une odeur très-agréable, qui se trouve dans la fève Tonka, dans l'aspérule odorante et dans le Waldmeister.

Parmi les *essences sulfurées* se rangent l'essence d'ail, huile irritante obtenue par la distillation des gousses d'ail ; on la nomme encore *sulfure d'allyl*, C^6H^5S ; l'essence de moutarde noire ou *sulfocyanure d'allyl*, $C^6H^5.C^2NS$, qui contient en outre de l'azote. Ces deux essences sont vénéneuses.

4. RÉSINES.

189. Les résines se composent de carbone, d'hydrogène et d'un peu d'oxygène ; ce sont des produits du règne végétal qui s'écoulent des parties lésées de certaines plantes, et sont mélangées ordinairement d'une huile volatile offrant, sous le rapport chimique, un rapprochement intime avec la résine. Elles sont le plus souvent jaunes et sans forme cristalline. L'huile volatile qui les accompagne leur donne généralement de l'odeur et de la saveur ; brûlées sur des charbons, beaucoup de résines forment des produits de combustion d'une odeur très-agréable dont on tire parti pour des fumigations. Les résines sont insolubles dans l'eau ; solubles, par contre, dans l'alcool ; l'éther et les huiles volatiles, ou au moins dans l'un de ces liquides. Lorsque ces dissolutions sont exposées à l'air en couches minces, le dissolvant se volatilise, et il reste une couche brillante de résine, nommée *verniss* ou *politure*. Nous avons déjà vu que les résines s'électrisaient par le frottement, mais qu'elles ne conduisaient pas l'électricité.

Sous le rapport chimique les résines se comportent comme des acides faibles, et elles forment, avec les fortes bases, des combinaisons semblables à celles que constituent les acides gras, savoir, des savons résineux, employés dans l'industrie, surtout pour la fabrication du papier méca-

nique. Par des acides plus forts, on peut isoler les acides résineux de leurs combinaisons ; on les obtient alors incolores, inodores et cristallisés.

Nous ne citerons que les résines les plus importantes :

La térébenthine, qui s'écoule de différents pins, surtout du larix, est un mélange d'huile volatile et de résine. On la distille avec de l'eau et on obtient l'essence de térébenthine : il reste une résine brune connue sous le nom de *colophane*. Lorsque la térébenthine se dessèche à l'air, on obtient la résine jaune, qui, fondue et purifiée, se nomme encore *poix blanche* ou *poix de Bourgogne*. En faisant brûler la partie résineuse des arbres résineux, on retire d'abord un goudron clair qui, distillé avec de l'eau, laisse pour résidu de la *poix blanche* ; plus tard se montre le goudron noir, qui, traité de la même manière, fournit la *poix noire*. On importe d'Amérique une grande quantité de résine, par la distillation de laquelle on obtient l'huile de résine, qui sert pour l'éclairage et pour la fabrication de graisses de voiture.

La résine copal provient des Indes sous forme de morceaux jaune clair qui, fondus et dissous dans l'huile de lin chaude, forment le vernis de copal, le plus durable de tous les vernis ; car il n'est pas attaqué par l'alcool.

Le *mastic* et la *sandarauque* sont des résines qui se présentent sous forme de larmes blanches ou d'un jaune pâle. Dissoutes dans l'alcool, elles constituent des vernis blancs. Avec le *benjoin* et le *storax*, elles servent encore à des fumigations.

La *gomme laque* coule de plusieurs arbres des Indes orientales, lorsqu'un petit hémiptère a fait une piqûre dans l'écorce. On l'emploie surtout pour fabriquer la cire à cacheter ; dissoute dans l'alcool, elle constitue la politure ordinaire des ébénistes. Au moyen du chlore, on peut la décolorer totalement et l'employer ensuite comme vernis.

La résine de *jalap*, extraite de la racine de jalap, constitue un purgatif très-usité en médecine.

Certaines résines sont molles et liquides et se nomment *baumes* ; sont le *baume du Pérou*, avec une odeur agréable rappelant la vanille l'héliotrope, et le *baume de Tolu*.

190. Le *caoutchouc*, nommé encore gomme élastique, se rencontre dans le suc lacteux qui se trouve dans beaucoup de plantes, par exemple, dans la salade. Cependant, on ne l'extrait que de quelques arbres de l'Amérique du Sud, et on l'emploie à cause de sa grande extensibilité, surtout pour la confection de tissus imperméables, fabriqués en premier lieu par l'Anglais Mackintosh. A cet effet, on le dissout d'abord dans l'huile volatile de goudron, qu'on obtient comme produit secondaire dans la fabrication du gaz d'éclairage. Mais comme le caoutchouc, au bout de quelque temps, pénètre le tissu, ces tissus sont à peu près tombés hors d'usage. Cependant la fabrication du caoutchouc a surtout acquis de l'impor-

tance et de l'extension depuis qu'on a découvert qu'une addition de soufre lui donnait une élasticité plus grande, se maintenant même à une température basse. On unit le caoutchouc, le soufre et la gutta percha en proportions différentes et on obtient des masses à tout degré voulu de dureté et de flexibilité, masses que l'on travaille ensuite, soit comme du bois et de la corne, soit comme de la peau et du cuir. Le sulfure de carbone (§ 66) a reçu par cette fabrication une application considérable. Le caoutchouc combiné avec 10 pour cent de soufre se nomme *caoutchouc vulcanisé*. Le caoutchouc pur ne contient que du carbone et de l'hydrogène, C^8H^7 .

La *gutta percha* fut introduite des Indes orientales en Europe en 1843. On la retire, à Bornéo, à Singapore et dans d'autres îles, d'un grand arbre dont on recueille non-seulement le suc laiteux, mais encore les couches de suc desséché. On la trouve dans le commerce en morceaux qui ressemblent à des déchets de cuir et en blocs, de couleur blanc grisâtre, qui ont une grande ressemblance avec du bois en putréfaction. La gutta-percha est insoluble dans l'eau, l'alcool, les lessives alcalines et les acides faibles; elle est en partie soluble dans l'éther, très-soluble dans l'essence de térébenthine. Sa propriété la plus importante est de se ramollir dans l'eau bouillante et de se laisser alors travailler comme de la cire, de telle sorte qu'on peut en former différents objets, prendre toute espèce de moules, car après le refroidissement il conserve sa forme intacte. La gutta-percha est extrêmement tenace, mais nullement élastique. Par une addition de caoutchouc, on peut cependant lui donner cette dernière qualité. La gutta-percha est d'une grande utilité pour le moulage de gravures sur bois dans le but de les reproduire par la galvanoplastie (§ 123).

L'*ambre* ou le *succin* est une résine qui se rencontre dans le règne minéral et dont l'origine se rapporte aux forêts détruites qui forment aujourd'hui l'anthracite. De cette résine, dure et d'un beau jaune, on fait différents objets d'art; fondu par la chaleur et dissous dans l'essence de térébenthine chaude, il constitue le vernis d'ambre, qui résiste au savon et à l'alcool et qui est fréquemment employé.

191. On appelle *gommes-résines* des mélanges de résine, de gomme, d'huile volatile et quelquefois encore d'autres corps, mélanges qui s'écoulent de diverses plantes des pays chauds et qui sont surtout importants à cause de leurs propriétés médicinales; tels sont, par exemple, la *gomme gutte*, qui sert encore de belle couleur jaune; la *gomme ammoniacque*, l'*assafœtida*, qui possède une détestable odeur; la *myrrhe*, l'*aloès*, qui est un purgatif très-amer; l'*opium* et d'autres.

3. MATIÈRES GÉLATINEUSES.

192. Différentes parties du corps animal, et particulièrement la peau, la substance organique des os (§ 56), la vessie natatoire des poissons, finissent, sous l'influence d'une cuisson prolongée, par se dissoudre complètement et par former un liquide qui, par le refroidissement, se prend en gelée qui, desséchée, se nomme *colle*. C'est pourquoi on nomme ces parties les tissus *gélatineux*. L'emploi de la colle ordinaire comme moyen d'union est suffisamment connu : elle ne possède pas de propriété alimentaire, 100 parties de gélatine renferment 49,5 C ; 6,6 H ; 18,5 N ; 25,8. O, et en outre une petite quantité de soufre.

La gélatine la plus pure s'obtient en dissolvant de la colle de poisson dans l'eau bouillante; le liquide qui en résulte est incolore, inodore et insipide. La colle parfaitement sèche est inaltérable à l'air. Chauffée pendant quelque temps avec de l'acide sulfurique étendu ou avec de la potasse, la gélatine se transforme en sucre de gélatine, *glyccolle* et *leucine*(V. § 175). Une propriété caractéristique de la gélatine, c'est de former avec l'acide tannique une combinaison insoluble dans l'eau; car lorsqu'on mélange une solution de gélatine avec une décoction d'écorces de chêne ou de noix de galle, il se forme immédiatement un fort précipité floconneux.

193. Le cuir. La peau animale est formée de trois couches distinctes 1^o l'*épiderme*, 2^o le *chorion*, 3^o la *couche cellulaire*. Ce n'est que la couche moyenne ou le chorion qui nous occupe ici, et c'est toujours de celle-ci qu'il s'agit quand on parle simplement de la peau. On débarrasse les peaux crues de l'épiderme et des poils, ainsi que de la graisse contenue dans la couche cellulaire, en étalant les peaux, dans leur état naturel ou bien saupoudrées de sel, les unes sur les autres en les abandonnant à un commencement de décomposition qu'on nomme *jusée*, et en les raclant ensuite avec des couteaux obtus. On emploie aussi la chaux vive et le sulfure calcique (§ 89) au dépilage et au dégraissage des peaux. On distingue à la peau une face interne et une face externe. L'examen microscopique montre que la peau nettoyée est une espèce de tissu cellulaire composé de fibres fines et transparentes. Si on la laisse dessécher, ces fibres adhèrent entre elles et la peau devient dure, cassante et impropre aux usages industriels. Abandonnée à l'influence de l'humidité, elle se putréfie, et possède, en cet état, la faculté de décomposer des combinaisons organiques.

Mais si, tant que la peau est encore humide et que les fibres de son tissu sont encore souples, on fait agir certaines substances qui se fixent sur les fibres, celles-ci ne s'agglutineront plus quand la peau sera séchée. La peau ainsi préparée se nomme *cuir*; elle possède alors

de la souplesse et de la solidité, résiste à un haut degré à la putréfaction et forme une matière industrielle très-importante. Pour la fabrication du cuir ou le *tannage*, on emploie principalement de l'acide tannique, de l'alun et des graisses, et on distingue d'après cela le tannage, le corroyage et la mégisserie.

Pour préparer le cuir de semelles et de bottes, le tanneur fait d'abord *gonfler* les peaux nettoyées, c'est-à-dire, qu'il les fait tremper dans l'eau courante jusqu'à ce qu'elles soient bien gonflées, puis il les place dans des fosses ou cuves qui contiennent une faible *lannée*, c'est-à-dire un liquide contenant de l'acide tannique et qu'on obtient par extraction du tan, c'est-à-dire, d'écorces de chêne moulues. Plus ce liquide pénètre insensiblement et complètement la peau, mieux celle-ci se transforme en cuir; mais il faut pour cela quelques mois au moins. Lorsqu'on tire parti de l'action de l'endosmose (*Physique*, § 31), la pénétration de la peau peut être accélérée. Pour cela on coud, par exemple, des peaux de veau en forme de sac; on les remplit de poudre humide de sumac, et on les place dans l'eau.

Dans la corroïerie, on traite d'abord les peaux par de la chaux vive. Après avoir enlevé la chaux par des lavages et à l'aide d'acides faibles, on communique à la peau les caractères du cuir en la trempant dans un mélange d'alun et de sel de cuisine; ou bien on prépare le maroquin en imbibant le cuir d'huile et en le cylindrant à plusieurs reprises. L'excès d'huile est ensuite enlevé au moyen d'une lessive.

194. On nomme *matière cornée* la substance dont se composent la corne, les poils, la laine, l'épiderme, les plumes, les sabots, les ongles et d'autres tissus semblables. Ces tissus sont dissous par les alcalis caustiques avec développement d'ammoniaque; ils se dissolvent aussi presque complètement dans l'eau bouillante sous une pression considérable; mais la solution ne se prend pas en gelée par le refroidissement, 100 parties contiennent environ 50 p. Carb. 6 Hydr., 17 Az., 21 à 23 Oxyg., 5 à 5 soufre. Toutes les matières cornées sont employées à la fabrication du *ferro-cyanure potassique*, et fournissent d'excellents engrais.

6. MATIÈRES ALBUMINOÏDES.

195. Parmi les combinaisons organiques non azotées, nous avons reconnu dans l'amidon, la cellulose, la gomme et les sucres, une série de corps, qui, sous le rapport de leur composition aussi bien que sous d'autres rapports, témoignaient d'une connexité intime. Les graisses offrent aussi un groupe de corps d'une composition semblable qui, mêlés en proportions variables, constituent toutes les matières grasses de l'organisme

végétal et animal. La circonstance que tous ces corps ne se composent que de trois corps simples, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, ensuite qu'en vertu de leurs propriétés chimiques on peut facilement les obtenir à l'état de pureté, nous a mis dans la possibilité d'être parfaitement éclairés sur leur composition, ainsi que sur les modifications qu'ils subissent sous certaines influences.

De même nous trouvons dans les matières végétales et animales un autre groupe de corps ayant une grande analogie dans leur composition et dans leurs propriétés chimiques. Ces corps, qu'on désigne d'une manière générale sous le nom de *matières albuminoïdes* ou *protéiques*, sont : l'*albumine* ou le *blanc d'œuf*, la *fibrine* et la *caséine*.

Ces trois corps renferment, outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, encore de l'azote et du soufre. Mais est-ce parce que ces corps ne peuvent être obtenus à l'état de pureté parfaite, ou bien parce qu'il est difficile de déterminer exactement la petite proportion de soufre qu'ils contiennent, toujours est-il qu'on n'a pas encore de certitude parfaite sur leur composition. On sait cependant que les proportions de poids des éléments de ces corps sont tellement analogues dans tous, qu'on les considérerait jusqu'ici directement comme identiques. Mais de nouvelles recherches ne confirment pas cette manière de voir. Laissant à des explorations ultérieures le soin de déterminer leur constitution chimique, nous nous bornerons à indiquer leurs propriétés générales et leur composition

100 part. en poids d'un de ces corps contiennent en moyenne 53 p. Carb., 7 p. Hydr., 22 p. Ox., et 16 p. Azote. La proportion de soufre varie dans ces différentes substances de 1 1/2 à 2 pour cent. La plus grande quantité de soufre se trouve dans l'albumine des œufs, qui en contient de 1,7 à 2 pour cent.

196. Les propriétés générales des corps albuminoïdes sont les suivantes : ils ne sont pas cristallisables, mais ils se présentent à l'état humide sous forme d'une masse blanche qui prend, en se séchant, un aspect corné demi-transparent. Dans le corps des plantes et des animaux, ils se trouvent dissous dans l'eau et par conséquent à l'état liquide. Mais sous l'influence de l'activité organique, ainsi que sous celle de la chaleur ou d'un mélange avec une solution acide ou avec de l'alcool, ils passent à l'état insoluble, où ils ne se dissolvent ni dans l'eau, ni dans l'alcool, ni dans l'éther, ni dans les graisses. Les alcalis dissolvent les matières albuminoïdes, mais elles sont de nouveau précipitées de cette solution par les acides. L'acide chlorhydrique dissout les corps albuminoïdes avec une couleur bleu foncé vive. L'humeur acide de l'estomac détermine aussi, avec le concours de la chaleur, leur dissolution lente.

Quand on abandonne les corps albuminoïdes dans un état d'humidité à

la dissolution spontanée, c'est-à-dire à la putréfaction, celle-ci se fait avec dégagement d'une odeur extrêmement fétide, provenant de carbonate d'ammoniaque, ou sulfure ammonique, et d'acide butyrique. Il est remarquable que ces corps, dès qu'ils sont à l'état de putréfaction et qu'ils arrivent en contact avec une dissolution sucrée, déterminent une décomposition particulière du sucre en alcool et en acide carbonique.

Les corps albuminoïdes sont d'une importance toute particulière pour l'histoire de l'alimentation des animaux, car les parties solides de la chair, du sang, du cerveau, et d'autres matières animales ne se composent pour la plus grande partie que de ces corps. C'est pourquoi on considère les aliments riches en albumine, fibrine et caséine comme particulièrement nutritifs, c'est-à-dire propres à former de la viande, du sang, etc., dans le corps de l'animal qui s'en nourrit.

197. 1. Albumine. Les suc^s végétaux et les liquides animaux qui se coagulent par la chaleur, contiennent de l'albumine. Quand on broie et qu'on presse des matières végétales quelconques, par exemple, nos légumes ordinaires, on obtient un suc vert, dont l'albumine se sépare par la cuisson. Elle est alors colorée en vert par du chlorophylle (§ 187), que l'on peut en séparer par de l'alcool. Si l'on coupe des carottes ou des pommes de terre, et qu'on les laisse tremper quelque temps dans l'eau, celle-ci en absorbe l'albumine, qui, par la cuisson de l'eau, se sépare en flocons blancs. L'albumine se trouve à l'état le plus pur dans le blanc d'œuf et dans le sang. Quand du sang frais repose pendant quelque temps, il se sépare en deux parties, l'une solide, nommée le *caillot*, qui surnage sur l'autre partie liquide, nommée *sérum*. Quand on chauffe ce dernier, l'albumine qui s'y trouve se coagule.

Les propriétés caractéristiques de l'albumine sont les suivantes : Dans les suc^s des plantes et des animaux, elle se trouve à l'état soluble, qu'elle perd aussitôt qu'on la chauffe à la température de l'eau bouillante. Elle se sépare alors sous forme d'une masse floconneuse blanche qui ne se dissout plus dans l'eau, et qu'on nomme *albumine coagulée*. En se coagulant, elle enveloppe d'autres matières qui sont contenues dans le liquide et les entraîne : c'est pourquoi tous les liquides albumineux sont excellents pour clarifier les liqueurs troubles et sont employés à cette fin, surtout dans la fabrication du sucre. Lorsqu'un liquide contenant de l'albumine est mélangé avec de l'alcool ou avec des acides, ceux-ci en précipitent l'albumine.

198. 2. Fibrine. De même que l'albumine, la fibrine se rencontre à l'état solide et à l'état liquide. La masse rouge qui constitue les muscles ou la viande des animaux est de la fibrine *solide*. A l'état de *dissolution*, elle se

trouve dans le sang: quand celui-ci se refroidit, elle s'en sépare en formant ce qu'on nomme le *caillot*. Elle est alors colorée par une matière colorante rouge qui existe dans le sang; et dont on peut la débarrasser par le lavage. On obtient de la *fibrine végétale* en mettant de la farine de froment dans un sac et en pétrissant constamment ce sac dans l'eau jusqu'à ce que l'eau qui s'en écoule ait cessé de présenter un aspect laiteux. L'eau enlève l'amidon qui se trouve dans le froment et laisse une masse tenace, visqueuse, qu'on nomme *gluten*. Au moyen de l'alcool bouillant, on enlève au gluten une partie soluble qui jouit surtout de la propriété de coller, et qu'on a nommée pour cette raison *colle végétale*. Le résidu insoluble est la *fibrine végétale*, qui a les mêmes propriétés que la fibrine animale.

199. 3. Caséine ou caséum. Le lait est un mélange de graisse (beurre) avec une solution aqueuse de caséine. Lorsque, après avoir débarrassé autant que possible le lait du beurre, on le chauffe, il se recouvre d'une petite membrane qui se renouvelle chaque fois qu'on l'enlève. Cette membrane qui se forme sur le lait est de la *caséine*. Celle-ci ne se coagule donc pas subitement quand on la chauffe, comme l'albumine, mais insensiblement. Cependant la coagulation est subite lorsqu'on ajoute au liquide chaud qui le contient, quelques gouttes d'acide. Lorsqu'on écrase des pois, des fèves et en général des semences légumineuses, et qu'on les traite par de l'eau, celle-ci en absorbe de la caséine qui, lorsqu'on fait bouillir cette eau, se sépare sous forme d'une membrane blanche qui a la plus grande analogie avec la caséine du lait.

200. Diastase. Lorsqu'on humecte de l'orge avec de l'eau, elle commence, au bout de quelques jours, à germer. L'orge germée se nomme *malt* et diffère essentiellement de l'orge primitive. Lorsqu'on broie le malt avec de l'eau, et qu'après filtration du liquide on y ajoute de l'alcool, celui-ci précipite la *diastase*, qui est alors mélangée d'albumine et de gomme. Cette substance se distingue par la propriété particulière de transformer l'amidon en gomme et en sucre, de même que cela se fait, d'après le § 186, au moyen des acides.

Le malt ne contient par conséquent que très-peu d'amidon, car celui-ci s'est converti presque totalement en gomme et en sucre, ce qu'indique déjà la saveur douce du malt. On tire parti de cette propriété particulière de la diastase principalement dans la préparation des liquides sucrés, qui servent à fabriquer la bière, l'eau-de-vie et le vinaigre. (Voyez la fabrication de la bière, § 207.)

201. Les aliments protéiques. L'expérience a démontré que les aliments riches en un des corps albuminoïdes ou protéiques que nous

venons d'étudier, étaient particulièrement nutritifs ; ce fait est généralement reconnu pour les œufs, le lait, la viande et le pain. Cependant, dans tous ces aliments, nous trouvons, à côté du corps protéique ou albuminoïde, encore une matière non azotée, soit grasse, soit amylacée, ainsi que différents sels ; et c'est précisément de ce mélange heureux que dépend leur faculté nutritive, si estimée.

L'œuf se compose, comme on sait, du *blanc d'œuf* qui contient 84 pour cent d'eau, et du *jaune d'œuf*. Ce dernier contient aussi à peu près $\frac{1}{6}$ d'albumine et de l'eau dans laquelle nagent des gouttelettes d'une huile jaune contenant du phosphore ; l'œuf contient en outre des phosphates.

Le lait que nous retirons de la vache contient en moyenne, sur 100 parties, 4 à 5 de beurre, 4 de caséine, 4 de sucre de lait, $\frac{1}{2}$ de sel ; ainsi en général, en éléments solides 12 à 14 pour cent. Le reste est de l'eau. Le lait frais est ordinairement alcalin. Au microscope, on reconnaît que

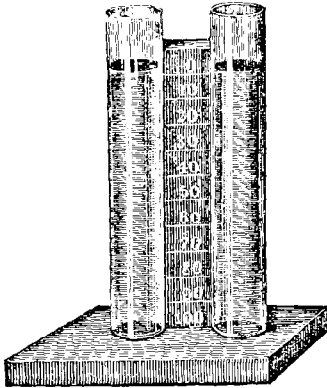


Fig. 74.

son opacité résulte de petits globules graisseux enveloppés d'une fine membrane ; ils sont en suspension dans le liquide et lorsque le lait est en repos, ils s'élèvent insensiblement vers la surface et forment la *crème*. Plus la couche de crème est épaisse, plus le lait est bon, de sorte que l'appareil figuré ci-contre (fig. 74), appelé *crémomètre*, peut servir à comparer la qualité de différents échantillons de lait ; il suffit d'en verser 100 parties dans chacun des cylindres et de l'y laisser reposer jusqu'à parfaite séparation de la crème. Par le battage de la crème, les membranes des globules graisseux crèvent, et la matière

grasse se réunit et forme le beurre. Ce beurre renferme un peu de lait, qui bientôt, en se décomposant, communique au beurre une odeur et une saveur rances, provenant de l'acide butyrique et du butyrate d'ammoniaque qui se forment dans cette fermentation (§ 149). Le beurre fraîchement préparé doit donc être lavé et pétri à différentes reprises jusqu'à ce que l'eau qui s'en écoule soit parfaitement incolore. Quand on veut conserver le beurre plus longtemps, on y ajoute un peu de sel, et même encore une très-petite quantité de sucre. En chauffant pendant assez longtemps le beurre, toute l'eau s'évapore et les autres matières s'en séparent également. On obtient ainsi du *beurre fondu*, qui se conserve pendant plusieurs années sans altération.

Lorsqu'on chauffe le lait et qu'on y ajoute quelques gouttes d'un acide, immédiatement toute la caséine se coagule et se sépare en entraînant la graisse en une masse caséuse; le même effet s'obtient à l'aide d'une substance qu'on nomme la présure, liquide qu'on se procure en découpant, puis faisant tremper dans l'eau, la caillette ou 4^{me} estomac d'un jeune veau. On décante alors le liquide qui renferme le sucre de lait et qu'on nomme le *sérum*; la matière coagulée reste au fond du vase et on en fabrique, avec addition d'un peu de sel, les différentes espèces de fromages gras, tels que ceux de Hollande, de Suisse, de Chester, etc.

Lorsqu'on abandonne du lait à lui-même, son sucre se convertit bientôt en acide lactique (§ 158), qui ne tarde pas à faire coaguler la caséine en grumeaux épais (*lait aigre*); si l'on chauffe ce lait, la caséine se sépare du petit-lait aigre. L'odeur et la saveur des fromages proviennent des produits de la putréfaction partielle de la caséine, parmi lesquels se trouvent de l'acide butyrique et de l'acide valérianique.

202. La *viande* consiste principalement en fibrine insoluble entremêlée de tissu cellulaire, de vaisseaux sanguins, de nerfs, et de plus ou moins de graisse. Lorsqu'on la traite par de l'eau froide et qu'on chauffe insensiblement, la *créatine*, l'*acide lactique*, l'*albumine*, les *sels* et la *matière extractive* se dissolvent et constituent le *bouillon*. Si l'on continue la cuisson dans l'eau, il reste une masse fibreuse d'une saveur fade et d'une faculté nutritive très-faible. Si l'on met la viande directement dans de l'eau bouillante, l'albumine se coagule immédiatement et rend l'extraction des autres matières solubles plus difficiles; dans ce cas, la viande cuite est plus savoureuse et plus succulente; mais le bouillon est beaucoup moins nutritif; lorsqu'on rôtit la viande, le jus s'y maintient également en plus grande quantité. On obtient un bouillon très-fort lorsque l'on hache finement la viande, qu'on la chauffe doucement avec très-peu d'eau, et qu'on passe le liquide à travers un linge.

Coupée en tranches fines, la viande peut parfaitement être desséchée et réduite en poudre. Cette poudre mêlée à du suif constitue le *pémican* des Américains. Celui-ci, trempé dans l'eau chaude, fournit un aliment excellent, qui a rendu de grands services dans des voyages de terre et de mer, surtout dans les expéditions au pôle Nord. Lorsqu'on saupoudre une viande de sel, celui-ci lui enlève une partie de son eau et de ses principes nutritifs solubles et forme la saumure. La *viande salée* est, par conséquent, moins nutritive que la viande fraîche; il en est de même de la viande qui a été séchée dans la fumée et qu'on nomme *viande fumée*.

203. Depuis les temps les plus reculés, le *pain* est considéré, chez tous les peuples civilisés, comme tellement indispensable, que notre prière journalière, aussi bien que les proverbes des peuples,

s'en servent pour représenter tous les aliments en général. Quelque variables que soient la forme et la préparation du pain, une chose reste constante, c'est qu'on le prépare avec la farine de graines céréales, qu'on en fait d'abord une pâte avec de l'eau et qu'on le cuit ensuite rapidement à une température élevée. La graine céréale se compose d'amidon, de fibrine végétale, de gélatine végétale, de phosphates salins et de celluloses, les dernières matières formant surtout son enveloppe externe qui, dans la mouture, fournit le son. C'est de la séparation plus ou moins complète de la couche de son d'avec l'intérieur du grain que dépend la préparation de diverses espèces de farines, qui diffèrent entre elles sous le rapport de la finesse, de la blancheur et de la valeur nutritive.

Dès que la farine a été pétrie avec de l'eau, il s'opère une transformation partielle de l'amidon en gomme et en sucre; plus tard, sous l'influence des matières albuminoïdes, le sucre entre en fermentation, c'est-à-dire qu'il se décompose en alcool et en acide carbonique, qui cherchent à s'échapper sous forme de gaz, surtout si la pâte se trouve en un endroit chaud. La nature visqueuse de la pâte, qui dépend de la gélatine végétale qu'elle contient, empêche à la vérité l'échappement de ces gaz, mais les vésicules gazeuses soulèvent toute la masse la rendent plus spongieuse, plus légère; c'est ce qu'on nomme la *levée* du pain. Pendant la cuisson, les vésicules gazeuses se dilatent encore davantage et donnent au pain cette nature légère et poreuse qui contribue essentiellement à le rendre de digestion facile. En même temps l'amidon se transforme en partie en gomme qui, arrivant sur la couche externe du pain en contact avec de la vapeur aqueuse, s'y dissout et en forme la croûte brillante.

La préparation du pain, telle que nous venons de la décrire, aurait une marche fort lente. Pour hâter ce travail, on a recours au *levain* et à la *levûre*. Le premier est une pâte devenue acide parce qu'on l'a conservée depuis quelque temps, et que l'alcool s'est converti en acide acétique. Lorsqu'on en met une partie dans de la pâte fraîche, elle la détermine en levée rapide en hâtant la transformation de l'amidon en sucre, en alcool et en acide carbonique. La levûre agit d'une manière semblable, sans communiquer au pain le goût aigre qu'il prend par l'emploi du levain. Certaines pâtisseries sont rendues plus légères par l'addition de carbonate de soude ou de potasse.

La farine des graines légumineuses, des fèves, par exemple, est, par elle-même, impropre à la panification, parce qu'elle ne contient pas de gélatine végétale et que, pour cette raison, la pâte ne devient pas spongieuse; il en est de même pour la farine de pommes de terre et de riz.

Produits de la décomposition des combinaisons organiques.

204. Dans ce qui précède, nous avons appris que le corps d'une plante ou d'un animal est un composé de différentes substances que nous avons étudiées sous le rapport de leurs propriétés, aussi bien que sous celui de leur composition chimique. C'est ainsi que la masse principale du corps animal se compose de fibrine, de tissu gélatineux, d'albumine et de graisse, sans compter le phosphate calcaire, qui constitue l'élément solide des os. La substance d'une plante est composée de fibre ligneuse, de chlorophylle, d'albumine, de gomme, d'amidon, d'huile, etc.; mais on doit se rappeler que la plupart de ces matières que renferment les organismes animaux et végétaux, s'y trouvent, soit dissoutes dans l'eau, soit gonflées ou imbibées de ce liquide, comme, par exemple, la fibrine, qui forme la chair musculaire. C'est pourquoi l'eau doit être considérée comme une partie constituante principale de ces corps. Nous savons en outre que c'est le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et le soufre qui composent toutes ces matières et qu'ils s'y trouvent à l'état de molécules très-composées.

Le corps de la plante et des animaux est donc un édifice construit d'une manière admirable de matériaux divers qui ne se maintiennent et ne se soutiennent mutuellement, comme tels, qu'aussi longtemps que le souffle de la vie règne dans l'édifice et le préserve, par son action puissante, d'une destruction interne aussi bien que des influences nuisibles qui l'entourent. Mais, dès l'instant que la vie, et avec elle le caractère d'être organique, a abandonné le corps, ses éléments retombent sous les lois générales de l'attraction chimique. Ces molécules si composées ne peuvent plus se maintenir comme telles; elles se désagrègent et forment des combinaisons plus simples, qui constituent les produits de la décomposition. Cependant, ce n'est pas cette complexité de l'état moléculaire qui à elle seule détermine l'écroulement de l'édifice; l'oxygène aussi, qui entoure tous les corps, ainsi que l'eau de l'atmosphère, y ont une forte part; ce sont eux qui donnent même souvent la première impulsion à la décomposition. Celle-ci commence et se termine encore plus rapidement avec le concours et sous l'influence d'une température élevée. Lorsque cette augmentation de température a lieu à l'abri de l'influence de l'air, la décomposition reçoit le nom de *distillation sèche*, tandis que la dissolution des corps organiques en combinaisons plus simples à la température ordinaire et sous l'influence de l'air et de l'eau, se désigne sous le nom de *décomposition spontanée*.

Il est clair que tous les produits qui résultent de la décomposition des corps organiques doivent être d'une composition plus simple que ceux-ci;

ensuite, qu'ils ne peuvent renfermer que les corps simples que nous trouvons dans les corps organiques; enfin, que leur poids total ne peut excéder celui du corps décomposé, à moins que, pendant la décomposition, il y ait absorption d'oxygène et d'eau du dehors.

1. DÉCOMPOSITION SPONTANÉE.

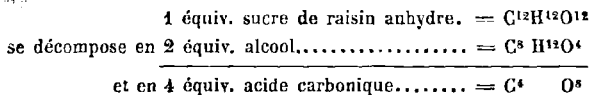
205. La décomposition de corps organiques en combinaisons chimiques plus simples, à la température ordinaire, se nomme la *décomposition spontanée*. Lorsqu'un corps contient du sucre, et que celui-ci, sous l'influence de la levûre, se change en acide carbonique et en alcool, cette décomposition se nomme *fermentation*. La *putréfaction* est une décomposition qui donne naissance à des produits de mauvaise odeur. La *désagrégation* est la destruction des matières organiques par l'action alternative de l'oxygène de l'air, de la lumière et de l'eau; on appelle *décomposition lente* celle où ces mêmes agents n'influent qu'à un très-faible degré.

206. La *fermentation*. On est habitué à comprendre sous le nom de fermentation la décomposition de liquides sucrés donnant naissance à de l'alcool. Mais dans ces derniers temps, on a compris sous ce nom une série de phénomènes de décomposition, qui ont cela de commun, qu'un certain corps, qu'on nomme *ferment*, agit sur un corps fermentescible sans manifester pour celui-ci une affinité chimique et sans faire partie lui-même du produit fermenté obtenu. Ordinairement même, une petite quantité de ferment suffit pour décomposer une quantité proportionnellement grande de matière. Le ferment subit également une décomposition pendant la fermentation, car aussitôt que celle-ci est terminée, il perd sa qualité de ferment. La marche de la fermentation, ainsi que les produits qui en résultent, sont différents, selon la nature de la substance fermentescible, du ferment et de la température; c'est ainsi que par la levûre à une température de 5 à 20° C., le sucre se décompose en alcool et en acide carbonique; par du fromage en putréfaction et à 53° C. le sucre se transforme en acide lactique, en acides butyrique et valérianique. On est aussi peu en état d'expliquer le phénomène de la fermentation que l'action chimique de la lumière et l'action de la présure sur le lait.

La fermentation ordinaire se nomme le plus souvent la *fermentation alcoolique*. Elle se fait dans tous les liquides sucrés des plantes, comme dans le jus des raisins, du fruit, de la canne à sucre, de la betterave, dans une décoction de malt, qui contiennent à côté du sucre une substance azotée, ordinairement de l'albumine ou de la fibrine végétales. Dès qu'un de ces liquides est exposé à l'air, il se produit d'abord une altération dans l'élément azoté; celui-ci absorbe de l'oxygène et se sépare insensiblement.

blement en un précipité bleuâtre qu'on nomme *levûre*. En même temps, le sucre de raisin contenu dans ces liquides commence à se décomposer en alcool et en acide carbonique. Le liquide prend bientôt une odeur spiritueuse, tandis que l'acide carbonique, qui s'élève de tous côtés sous forme de petites bulles, fait monter et écumer le liquide, circonstance à laquelle on peut facilement reconnaître l'état de fermentation.

La fermentation s'explique par les formules des matières .



La fermentation est complète quand tout le sucre du liquide est transformé en alcool. Il est bon d'observer que dans la décomposition du sucre de canne, il faut que celui-ci, en absorbant de l'eau, se transforme d'abord en sucre de raisin avant de subir une décomposition ultérieure.

La levûre, qui s'est déposée sous forme de précipité au fond du vase, possède la propriété, lorsqu'elle est mise en contact avec une nouvelle quantité de sucre, de déterminer également la décomposition de celle-ci, et il ne faut qu'une petite partie de levûre pour faire fermenter une grande quantité de sucre. Mais la levûre finit par perdre cette propriété, lorsque sa propre décomposition est complète. Si le liquide en fermentation était riche en éléments azotés, ce qui a surtout lieu dans les extraits de malt des brasseurs, il y aurait nouvelle production et augmentation de levûre. Sous le microscope on reconnaît que la levûre se compose de petites vésicules membraneuses contenant un liquide. Ces petits globules de ferment poussent des bourgeons, qui grandissent et se multiplient assez rapidement, comme cela a lieu dans certains champignons microscopiques.

La fermentation des liquides sucrés n'a cependant pas lieu dans toutes les circonstances. Il faut pour cela nécessairement, au moins dans le principe, le contact de l'air ainsi qu'une température de 20 à 30° C. En dessous de 10° C. elle ne se fait pas. Il y a aussi certaines substances qui, ajoutées même en très-petite quantité au liquide fermentescible, en empêchent la fermentation; telles sont l'essence de moutarde noire, l'acide sulfurique, l'acide nitrique. La levûre perd sa qualité de ferment, lorsqu'elle est totalement desséchée, ou qu'elle a été chauffée jusqu'à 100°, ou bien lorsqu'elle a été mélangée avec de l'alcool, des acides ou des alcalis. Ce qu'on nomme la *levûre artificielle* se prépare, en laissant reposer pendant quelques jours à une température modérée de la pâte de farine de froment, jusqu'à ce qu'elle ait acquis une odeur vineuse.

207. Les *boissons spiritueuses* sont toutes des produits de la ferment-

tation de liquides sucrés; on les obtient soit par la distillation des liquides fermentés, tels sont l'alcool et les différentes espèces d'eaux-de-vie; soit sans distillation, comme le vin et la bière.

Les liquides spiritueux *distillés* ne contiennent naturellement que des éléments volatils, savoir, d'après leur substance principale, de l'alcool et de l'eau. Ordinairement les eaux-de-vie préparées avec différentes matières végétales ont un goût accessoire particulier qui plaît plus ou moins. La raison en est que, pendant la fermentation de ces matières, il se forme des essences ou des éthers différents, qui ont une odeur particulière qu'ils communiquent à l'eau-de-vie. C'est ainsi que les eaux-de-vie de pommes de terre et de grains doivent leur odeur et leur saveur aux essences qui y sont contenues (V. § 169 et 172). Le *rhum* se prépare avec le sirop de la canne à sucre; l'*urac* avec du riz fermenté, et le *sucré de lait* même, sert aux habitants des steppes de l'Asie pour s'en préparer une boisson enivrante.

Comme l'amidon se transforme en sucre tant sous l'influence de l'acide sulfurique que sous celle de la diastase, ce sont ordinairement les matières végétales contenant de l'amidon qu'on emploie à la fabrication de l'eau-de-vie. Des grains ou des pommes de terre cuites sont mélangés avec du malt et mis à tremper dans les cuves à matière, et le liquide fermenté, nommé *mout*, est ensuite distillé.

Le *vin* contient, selon la proportion de sucre renfermée dans le raisin dont on le prépare, des quantités très-inégales d'alcool. Tandis que le vin allemand ordinaire n'en contient que 8 à 10 et le plus fort vin de Rhin que 12 à 14 pour cent, les vins du Sud de la France, de l'Espagne et du Portugal en contiennent 18 à 20 pour cent. Le vin contient en outre les éléments du jus de raisin qui peuvent se dissoudre dans ce liquide spiritueux. Indépendamment d'une matière colorante, il contient du tartre (§ 160), qui est surtout fréquent dans le vin de Rhin et qui lui donne un goût aigrelet; ensuite du sucre, qui se trouve particulièrement dans certains vins du Sud, soit naturellement, soit ajouté. L'odeur vineuse qu'ils ont tous, même les plus communs, dépend de l'éther cœnanthique (§ 169); mais le bouquet, que ne possèdent que les vins fins, et surtout à un haut degré les vins de Rhin de haut cru, est dû sans doute à la présence de certaines espèces d'éthers cités plus haut (§ 172). Plusieurs vins rouges, surtout le Bordeaux, renferment à côté de la matière colorante un peu d'acide tannique, qui lui communique un goût astringent.

Pour préparer la *bière*, on fait d'abord dans la cuve-matière une infusion d'orge germée, qu'on nomme *mout*, puis on fait cuire celui-ci, on y ajoute du *houblon* et on fait refroidir lentement. Le *mout* refroidi est ensuite conduit dans la cuve guilloire à fermentation ouverte au-dessus;

là il fermente à une température de 5 à 10° C., et, avant que tout le sucre se soit transformé en alcool, on met le liquide en tonnes, soit pour le conserver, soit pour le boire de suite (bière jeune). Les bières obtenues par ce procédé sont brunes ou plus ou moins amères, la levûre qui se sépare s'accumule au fond des cuves à fermentation; on la nomme *levûre inférieure* et elle se compose de globules isolés.

Les bières blanches, plus claires, non amères, à levûre supérieure, qui sont plus recherchées dans l'Allemagne du Nord, s'obtiennent lorsqu'on laisse fermenter du moût non houblonné plus rapidement, c'est-à-dire, à une température de 12 à 19° C. Dans ce cas la levûre se sépare *au-dessus* par le dégagement tumultueux de l'acide carbonique. Sous le microscope on remarque que cette levûre se compose de globules en forme de cordons ramifiés.

Les éléments constitutifs de la bière sont donc, outre l'eau, 4 à 5 pour cent d'alcool, du sucre, de la gomme (cette dernière lui donne sa viscosité), le principe amer du houblon et de l'acide carbonique, qui est la cause de son écume. La bière ne contient pas d'éléments azotés et ne peut donc pas être nutritive comme les aliments décrits au § 195; cependant il faut tenir compte sous ce rapport qu'elle contient une assez grande quantité de phosphates. La bière devient facilement acide, parce que son alcool se transforme en acide acétique. Cela arrive d'autant plus vite que la bière est plus faible. L'acidification est au contraire retardée par le principe amer et l'essence du houblon; de sorte que la bière houblonnée se conserve mieux que la bière douce. Ce qu'il y a de plus essentiel pour la conservation de la bière, c'est le séjour dans un endroit aussi frais que possible; aussi conserve-t-on la bière dans des caveaux dont la température en été ne dépasse pas 8 à 10° C.

208. La fermentation acide est basée sur la transformation de l'alcool en acide acétique au moyen de l'oxygène de l'air. A un équivalent d'alcool = $C^4H^6O^2$ se combinent 5 équiv. d'oxygène et forment 2 équ. eau et de l'acide acétique, $2HO + C^4H^4O^5$. On obtient ce résultat en grand dans la *fabrication du vinaigre*, en exposant des liquides alcooliques au contact de l'air et à une chaleur de 28 à 35° C. On emploie à cet effet les matières les plus diverses, telles que les déchets de la fabrication de la bière ou du vin, la drêche, le marc, etc., qu'on utilise de cette manière. Mais ordinairement on se sert d'un liquide fermenté (§ 207); on met celui-ci dans des tonneaux qui ne sont pas entièrement fermés et que l'on place dans des chambres à vinaigre, chauffées au besoin. La transformation en vinaigre se fait insensiblement, et le vinaigre est achevé, lorsqu'il s'est clarifié par le repos.

On peut transformer très-vite de l'alcool en acide acétique. A cet effet,

on verse de l'alcool étendu à travers un tonneau rempli de copeaux de bois, on recueille le liquide au-dessous et on répète à plusieurs reprises la même opération. L'alcool en s'étendant sur les copeaux et en s'égouttant lentement, arrive en contact avec une grande quantité d'oxygène. On nomme ce procédé la méthode aux copeaux. Le vinaigre du commerce contient 2 à 3 pour cent d'acide acétique, tandis que le vinaigre de vin fort et ce qu'on nomme l'esprit de vinaigre en contiennent jusqu'à 10 pour cent. Il arrive qu'on falsifie le vinaigre avec de l'acide sulfurique; on reconnaît cette fraude en mélangeant dans une soucoupe un peu de vinaigre avec une petite quantité de sucre, puis en faisant évaporer à une douce chaleur. Si l'échantillon contenait de l'acide sulfurique, celui-ci reste dans la soucoupe et carbonise le sucre, qui est transformé en une masse noire.

209. La putréfaction fournit des produits moins agréables que ceux que nous venons d'étudier. Ici encore, nous devons nous rappeler les corps simples dont sont composés les corps des végétaux et des animaux pour nous faire une idée claire des produits qui naîtront de leur décomposition. Mais ceux-ci ne seront pas les mêmes dans toutes les circonstances et différeront notablement quand la putréfaction aura lieu à température basse et en présence de l'eau, ou à une température élevée et en l'absence de l'humidité. Ensuite, les corps animaux donneront, à cause de la plus grande quantité de soufre et d'azote qu'ils contiennent, certains produits en plus grande abondance que les végétaux, qui ne renferment ces substances qu'en quantité beaucoup moindre. On peut admettre, d'une manière générale, que dans la putréfaction à une température basse, il se formera plus de combinaisons hydrogénées; à une température plus élevée, ainsi que lorsque l'accès de l'eau est moins facile, des combinaisons oxygénées. Le tableau qui va suivre fera comprendre ce mode de décomposition.

Que l'on ne se figure cependant pas que, dans ces cas, les produits se formeront d'une manière aussi positive qu'ils se trouvent rangés dans les deux séries. Au contraire, les produits d'une série se montreront plus ou moins avec ceux de l'autre, selon les circonstances. Souvent au commencement de la putréfaction, alors qu'il y a encore beaucoup d'eau, ce sont les premiers produits, vers la fin les derniers produits qui prédominent; enfin, les premiers peuvent se transformer finalement en composés oxygénés. Les produits peuvent aussi se combiner entre eux, de sorte qu'il naît des produits plus composés, tels que du carbonate et de l'azotate d'ammoniaque, du sulfhydrate d'ammoniaque, etc.

Produits de la décomposition des matières animales et végétales.

EN PRÉSENCE de beaucoup d'eau et à une température basse		EN PRÉSENCE de peu d'eau et à une température plus élevée.	
Eau.....	HO	Eau.....	HO
Hydrogène carboné.....	C ² H ⁴	Acide carbonique.....	CO ²
Hydrogène sulfuré.....	S H	Acide sulfurique.....	SO ³
Hydrogène phosphoré.....	P H ³	Acide phosphorique.....	PO ⁵
Ammoniaque.....	N H ³	Acide azotique.....	NO ⁵
x (OCSPNH)		x (HCSPNO)	

Ce qui influe encore sur les produits de la décomposition, c'est la nature du milieu où les objets en putréfaction se trouvent. Car, si celui-ci contient de fortes bases, il naîtra surtout des acides qui se combinent avec elles. C'est ainsi que se produit l'acide azotique, dont nous avons parlé au § 74.

Tous les produits de décomposition que nous avons énumérés plus haut se trouvent dans le fumier et dans le purin, et donnent à ceux-ci une grande valeur pour la nutrition des plantes. Mais comme ces combinaisons sont toutes sans exception volatiles, il y en a beaucoup qui se perdent dans l'air. C'est pourquoi on a essayé de fixer les éléments volatils dans le fumier, en y ajoutant des substances non volatiles susceptibles de se combiner avec eux ; on emploie à cet effet de la chaux, de l'argile, du plâtre, du vitriol de fer et certains acides, notamment de l'acide sulfurique.

210. On empêche la putréfaction, en évitant l'accès de l'eau et de l'air, ainsi que par une température basse. Toutes les matières animales et végétales bien desséchées ne se putréfient pas. La dessiccation peut se faire à l'air, ou par la chaleur artificielle, ou bien au moyen d'un corps qui leur enlève l'eau en vertu d'une grande affinité pour ce liquide. Commetels, nous citerons le sel, ainsi que le sucre, et c'est sur ce principe que reposent la salaison de certaines matières et la préparation de confitures. L'alcool agit de la même manière sur les objets qu'on y conserve.

Quand on place de la viande, des mets de viande préparés, du lait, des légumes ou autres comestibles dans des vases en fer-blanc, que l'on remplit ensuite d'eau chaude et que l'on ferme hermétiquement au moyen d'un couvercle soudé, qu'on chauffe après cela pendant quelque temps dans de l'eau bouillante, ces objets se conservent au delà d'une année sans aucune altération. Ce procédé, découvert par *Appert*, est effectivement mis en usage pour conserver des mets à l'état frais pour les voyages de mer

et pour la saison d'hiver. Il repose sur l'exclusion complète de l'oxygène atmosphérique. Les légumes dits *comprimés*, qui font aujourd'hui l'objet d'une grande fabrication, ne sont nullement en état de conservation par la compression, ainsi que semble l'indiquer leur nom mal choisi; mais les légumes convenables, tels que les pois verts, les fèves, les choux et les fruits sont coupés en morceaux, et desséchés rapidement à une température basse par des courants d'air rapides. Ces légumes subissent toujours une certaine altération dans leur saveur et leurs autres qualités, et cela surtout parce que les matières albuminoïdes solubles se trouvent réduites à l'état insoluble.

En Sibérie, on a trouvé gelé dans la terre un mammouth, animal que l'on ne rencontre plus à l'état vivant. La peau, les poils et la chair même étaient tellement bien conservés, que cette dernière fut mangée par des chiens. Cet animal est peut-être resté dans cet état depuis des milliers d'années, ce qui est bien une preuve remarquable que le froid s'oppose à la putréfaction.

Certaines matières qui entravent la fermentation, empêchent ou retardent également la putréfaction; telles sont l'huile de moutarde, la créosote et surtout l'esprit de bois, ensuite l'arsenic, le sublimé corrosif, etc. La préparation des momies consiste à dessécher autant que possible les cadavres et à les traiter ensuite par ces matières anti-putrides.

III. Carbonisation lente. Lorsque des débris de plantes, surtout du bois, des tiges, des racines, de la mousse, etc., sont soumis à la décomposition spontanée, l'accès de l'air étant totalement ou incomplètement empêché, mais non pas l'humidité, l'oxygène et l'hydrogène s'échappent insensiblement de la masse sous forme d'acide carbonique, d'eau et d'oxyde de carbone, et le résidu devient de plus en plus riche en carbone. On reconnaît ce travail non-seulement à la couleur de ces objets, qui devient d'autant plus foncée que la décomposition progresse, mais encore par l'analyse chimique. Les produits qui en résultent se nomment terre ligneuse, humus, terre de bruyère, tourbe, lignite ou houille, et ne diffèrent que par le degré de leur décomposition, dont la houille représente le dernier degré.

La couche arable ordinaire contient toujours une grande quantité de ces débris de plantes à moitié décomposés, que l'on désigne sous le nom d'humus et qui lui donnent cette couleur plus foncée, souvent noire, que ne possède pas la terre sous-jacente.

Les produits carbonés qui sont les résultats de la décomposition insensible des matières végétales, se trouvent en si grandes masses et sous des formes si diverses, que nous pouvons en tirer parti comme

combustible. En effet, la quantité de bois qui se trouve sur la terre et qui croît chaque année serait loin de suffire aux exigences du genre humain, si l'on n'avait recours à des trésors accumulés depuis des milliers d'années sous forme de charbon. En raison de l'importance que le combustible exerce sur toute notre existence, nous croyons ne pouvoir pas nous dispenser de quelques réflexions sur ce sujet.

212. La *tourbe* est incontestablement la formation de charbon la plus récente et qui se produit constamment sous nos yeux. Elle doit principalement son origine à une plante insignifiante, une espèce de *mousse* du genre *sphagnum*, qui est très-répendue sur les marais tourbeux. La partie inférieure de cette mousse meurt, tandis qu'il s'élève sur elle une nouvelle couverture de mousse qui, en mourant l'année suivante, s'ajoute à celle qui est en décomposition. C'est ainsi que croît d'année en année une couche de matières carbonées, qui au bout de 80 à 100 ans acquiert une profondeur considérable. Avec le temps, la carbonisation fait toujours des progrès, les couches inférieures deviennent de plus en plus riches en carbone, plus noires et plus denses, à cause de la pression des couches supérieures.

C'est pourquoi la meilleure tourbe est la plus ancienne; son aspect noir et sa grande densité ne laissent presque plus soupçonner son origine végétale. La tourbe plus récente, au contraire, est brune, spongieuse; on y reconnaît facilement, à l'état de décomposition, la mousse ainsi que d'autres tiges et racines qui se trouvaient sur le terrain tourbeux.

Le mélange plus ou moins grand de la tourbe avec des substances terreuses dépend de circonstances particulières. Dans quelques espèces de tourbes il s'en trouve fort peu, tandis que d'autres espèces en contiennent de 50 à 50 pour cent. Alors naturellement la pesanteur spécifique de la tourbe n'est pas un indice de sa qualité; il faut, dans ce cas, tenir compte de la quantité de cendres qu'elle laisse.

213. La formation du *lignite* appartient à une époque qui n'a pas eu l'homme pour témoin, mais qui cependant a précédé immédiatement l'apparition de celui-ci.

Des masses plus ou moins grandes de bois furent alors, soit subitement, soit insensiblement, recouvertes de masses de terre et changées dans leur aspect. Selon les diverses circonstances qui ont déterminé son altération, le lignite offre des transitions remarquables depuis l'aspect encore parfaitement végétal jusqu'à celui de véritable houille. On trouve des troncs de lignite où les anneaux circulaires, les feuilles, les semences sont encore parfaitement reconnaissables, tandis qu'un autre lignite est terreux, noir et dense, et ne trahit nullement son origine végétale. En général, c'est la couleur brune qui prédomine dans le lignite; il a acquis une grande densité par la pression de la masse de terre sous

laquelle il s'est formé. On trouve en effet des troncs dont la compression a réduit la forme cylindrique en celle de colonnes plates et elliptiques. Le lignite est un combustible précieux : il contient fréquemment du sulfure de fer, substance accessoire nuisible.

214. La houille appartient, d'après l'histoire de son origine, à une époque beaucoup plus reculée encore. Sans doute elle s'est également produite au moyen de matières végétales, de troncs ligneux, mais ils ont subi par la pression et par la longueur du temps une telle altération que jusqu'à ces derniers temps il régnait l'opinion que la houille n'était pas d'origine végétale. Ce qui parle cependant beaucoup en faveur de cette dernière origine, c'est d'un côté la circonstance que dans la tourbe et la lignite on peut poursuivre la transition de l'aspect végétal à l'aspect minéral, et d'un autre côté le fait, que partout on a trouvé en compagnie de la houille des débris végétaux de toute espèce, voire même des troncs d'arbres parfaitement reconnaissables. En outre, le microscope démontre encore la structure cellulaire sur beaucoup de morceaux de houille, qui paraissent tout à fait compactes.

Reste la difficulté d'expliquer ces masses énormes de houille que l'on rencontre en couches de 40 pieds et plus de hauteur, et qui doivent avoir exigé, pour leur formation, des masses considérables de bois et bien des milliers d'années.

La houille est dense, noire et luisante. Sa densité est le plus souvent = 1,5, et si nous comparons cette densité à celle du bois ou du charbon de bois, il est évident qu'à volume égal la houille doit renfermer une quantité beaucoup plus grande de principes combustibles. C'est en effet un combustible excellent, qui, en raison de sa densité, est naturellement plus difficile à enflammer et exige une plus grande quantité d'oxygène, et partant un courant plus fort que ne le demandent le bois et le charbon de bois.

Il ne faut cependant pas considérer la houille comme du carbone pur. Elle renferme encore toujours de l'oxygène, de l'hydrogène et une petite quantité, 1 à 2 pour cent, d'azote. Nous y rencontrons en outre des éléments minéraux parmi lesquels nous mentionnerons surtout le soufre, en combinaison avec le fer.

Il est évident que, lors de l'origine de la houille, il n'y a eu qu'une carbonisation incomplète. On peut y suppléer en carbonisant la houille absolument de la même manière que le bois. On atteint ainsi encore un autre avantage, c'est de lui enlever le soufre souvent très-nuisible dans l'emploi de la houille. Le produit obtenu se nomme *coke* (en anglais *coak*). Comme le coke, à l'exclusion des éléments minéraux, se compose uniquement de carbone, et qu'il a en même temps une grande densité, c'est le meilleur combustible lorsqu'il s'agit d'atteindre une haute

température dans un petit espace. C'est pourquoi on l'emploie particulièrement pour chauffer les locomotives. Le coke a un aspect gris luisant, presque métallique et en même temps scorieux ; il est si dense, qu'il résonne quand on le frappe.

La houille se rencontre sous des formes extrêmement différentes, d'une qualité et d'une composition très-variables, ainsi que le démontrera le tableau des combustibles que nous donnerons ci-après. Il est évident qu'elle a d'autant moins de valeur qu'elle contient plus de matières minérales incombustibles. Par rapport à la manière de se comporter réduites en poudre à la chaleur, les houilles se divisent en 3 catégories. Les unes se boursoufflent et se fondent ensemble : ce sont les *houilles grasses* ; les autres se mélangent simplement un peu et s'accolent : ce sont les *houilles demi-grasses*, enfin, elles restent pulvérulentes : c'est ce qui arrive à la *houille sèche*.

Une des meilleures espèces de houille est celle qui se rencontre en Angleterre sous le nom de « *candle coal* » et qui brûle avec une flamme brillante. Cette propriété, ainsi que sa valeur pour la fabrication du gaz, provient principalement de la quantité d'*hydrogène* qu'elle contient.

215. Après avoir, dans ce qui précède, fait connaissance avec le bois, la tourbe, le lignite et la houille, il sera bon d'ajouter quelques réflexions générales sur la valeur de ces matières comme combustibles.

Tout notre système de chauffage repose sur la combinaison du carbone d'une part et d'autre part de l'hydrogène avec l'oxygène, savoir sur ce qu'on nomme la combustion.

A poids égaux, la plus grande valeur comme combustible appartiendra donc au corps qui contiendra la plus grande partie de carbone et d'hydrogène à l'état non oxydé. Dans 100 kilos de bois vert, je n'achète que 20 kilos de carbone, tandis que 100 kilos de bois sec en contiennent 40 kilos. A mesures égales, le meilleur combustible sera celui qui contient le plus de carbone et d'hydrogène et qui possède la plus grande densité.

La chaleur que fournissent les combustibles dépend absolument de leur mode de combustion ; car des poids égaux de charbon, brûlés dans des circonstances tout à fait identiques, donnent des quantités égales de chaleur. Une combustion est complète, lorsque aucune matière combustible ne s'échappe sans avoir été transformée au degré d'oxydation le plus élevé, savoir en acide carbonique.

Toute disposition de foyer d'où s'échappent des gaz et des vapeurs à l'état de fumée ou bien un gaz inflammable à flamme bleue (oxyde de carbone), constitue une perte évidente.

Dans l'emploi des combustibles on doit donc avoir égard aux quantités de carbone, d'hydrogène, d'eau et de matières minérales qu'ils contiennent,

à leur densité et à la possibilité de leur combustion complète par l'afflux suffisant d'oxygène.

COMPARAISON DE QUELQUES COMBUSTIBLES :

SÉCHÉS A 100° CENTIGÈ.	DENSITÉ.	400 PARTIES EN POIDS CONTIENNENT			
		CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.	MATIÈRES MINÉRALES.
Charbon de bois.....	0,187	99,07	—	—	0,05
Coke.....	1,08	95	—	—	jusqu'à 5,00
Houille grasse anglaise.	1,28	87	5	5	1,5
Candle coal.....	1,51	67	5	8	2,5
Lignite (le meilleur)....	1,57	66	4,8	18	2,7
Tourbe (la meilleure)...	—	58	5,9	31	4,6
Lignite (ligneuse).....	1,27	51	5	50	1,29
Bois de hêtre.....	0,728	49	6	44	—
Le même (séché à l'air).	—	40	—	—	—

Ce tableau démontre clairement combien la quantité d'oxygène diminue à mesure que l'on remonte aux formations carbonifères plus anciennes. Tandis que le bois renferme 44 pour cent d'oxygène, cette quantité descend, dans certaines houilles, jusqu'à 5 pour cent.

Pour ce qui concerne les quantités relatives de chaleur que fournissent les différentes substances pendant leur combustion, nous nous en sommes occupés au § 156 de la Physique.

2. DISTILLATION SÈCHE.

216. Les matières que l'on soumet à la distillation sèche, pour en obtenir certains produits, sont principalement la houille, le bois et la chair des animaux. Ces décompositions se font principalement dans des fabriques, où l'on chauffe ces matières dans des cornues de fer, qui ont tantôt la forme de tubes, tantôt celle de chaudière ou de fours. On y adapte des dispositions convenables pour recueillir les produits que l'on veut utiliser.

Les combinaisons qui résultent de cette distillation dépendent natu-

rellement de la composition des corps chauffés. La différence qui existe sous ce rapport ressortira du tableau suivant :

PRODUITS DE LA DISTILLATION SÈCHE					
DE LA HOUILLE.		DU BOIS.		DE CORPS ANIMAUX.	
Eau.....	HO	Eau.....	HO	Eau.....	HO
Ammoniaque..	NH ³	Esprit de bois	C ² H ⁵ O ²	Sulphhydrate d'ammoniaque	SU+NH ³
Aniline.....	C ¹² H ⁷ N	Acide acétique	C ⁴ H ³ O ²	Cyanhydrate d'ammoniaque	CyH+NH ³
Huiles goudr. volatiles....	CH	Huiles goudr. volatiles....	CH	Carbonate d'ammoniaque	CO ² +NH ³
Goudron.....	CHO	Goudron.....	CHO		
Naphtaline....	C ²⁰ H ⁸	Créosote.....	C ²² H ¹⁰ O ²	Huile volatile de goudron..	CHON
Hydrogène car- boné.....	C ² H ⁴	Hydrogène car- boné.....	C ² H ⁴	Hydrogène car- boné.....	C ² H ⁴
Gaz d'éclairage	C ² H ⁴	Gaz d'éclairage	C ² H ⁴	Acide carboni- que.....	CO ²
Acidesulfureux	SO ²	Acide carboni- que.....	CO ²	Oxyde de car- bone.....	CO
Acide carboni- que.....	CO ²	Oxyde de car- bone.....	CO		
Oxyde de car- bone.....	CO				
Comme résidu: coke.....	C	Comme résidu: charb.de bois.	C	Comme résidu: charb. azoté.	NC
	ACHOSN		CHO		CHOSN

Ici encore, comme dans la putréfaction, les produits d'une rangée se retrouvent dans les produits de l'autre rangée, mais toujours en quantité subordonnée.

D'une manière générale, ce sont d'abord les produits riches en hydrogène qui apparaissent : tels sont l'acide acétique, l'esprit de bois, les huiles volatiles et de l'eau ammoniacale; mais bientôt ces produits se décomposent en combinaisons plus simples, tels que les gaz hydrogènes carbonés, l'acide carbonique et l'oxyde de carbone. Nous connaissons déjà l'emploi des gaz hydrogènes carbonés pour l'éclairage (§ 60). Le *goudron*, qui se produit dans chacun des exemples de distillation sèche que nous avons donnés, n'est pas un corps d'une composition chimique déterminée, mais un mélange de beaucoup de matières, surtout d'une huile volatile nommée huile empyreumatique, et il est noirci par du charbon.

Plusieurs des corps qui y sont contenus sont devenus des objets de fabrication à cause de leurs propriétés et de leurs usages. C'est ainsi qu'en distillant du goudron de bois ou de houille avec de l'eau, on obtient diverses *huiles de goudron*, qui sont inégalement volatiles et que l'on sépare en interrompant la distillation. Ces huiles se composent de carbone et d'hydrogène, et servent à l'éclairage sous différents noms choisis d'une façon tout à fait arbitraire, tels que *photogène*, *hydrocarbure*, *huile solaire*, *huile de cristal*. L'huile volatile du goudron de houille, qu'on employait auparavant, principalement pour liquéfier le caoutchouc, se trouve maintenant dans le commerce à l'état parfaitement limpide sous le nom de *benzine*, et sert à enlever les taches de graisse, de résine, etc. Nous avons déjà fait mention au § 176 de l'*aniline*, qui est contenue dans l'huile brute de goudron de houille.

La *naphthaline*, $C^{20}H^8$, qui provient du goudron de houille, est un corps cristallisé en aiguilles nacrées, d'une odeur particulière, non désagréable, ressemblant à celle de la suie, qui contient également un peu de cette substance. La *créosote*, $C^{12}H^6O^2$, s'obtient de cette partie de goudron de houille qui distille entre 450 et 200° C.; c'est un liquide huileux, incolore, à propriétés légèrement acides, d'où on lui a encore donné le nom d'*acide phénolique*: elle a l'odeur pénétrante de la fumée, une saveur caustique, elle entrave à un haut degré la putréfaction ainsi que la fermentation, et constitue un poison. Un autre produit de la distillation du goudron se nomme *paraffine*; c'est un carbure d'hydrogène (CH) solide, blanc, cristallin et inaltérable par les acides et les bases les plus forts. On obtient surtout la paraffine par la distillation des ardoises bitumineuses et on l'emploie à la fabrication des bougies.

Le goudron et l'huile de goudron tirés des matières animales ne sont guère susceptibles d'application, à cause de leur odeur fétide pénétrante.

L'*ammoniaque* et ses combinaisons importantes, que fournit la distillation des matières animales, ont été décrites au § 85. Le liquide distillé brut qui le renferme est employé en médecine sous le nom d'*esprit de corne de cerf*.

Le *vinaigre de bois* sert à la préparation de l'acide acétique et de certains acétates, surtout de l'acétate de plomb. A cause de son goût de créosote, on ne l'emploie pas pour la table. Il possède, comme presque tous les produits de la distillation sèche, la propriété de s'opposer à la putréfaction ainsi qu'à la fermentation. L'*esprit de bois* a été décrit au § 84.

217. Produits distillés naturels. L'étude de la structure et de l'origine de la croûte terrestre montre qu'à différentes époques les couches supérieures de la terre ont été pénétrées par des flots de matières minérales incandescentes qui ont fait éruption. Aux endroits où ces flots brû-

lants ont été en contact avec les couches de la terre, celles-ci ont dû subir, selon leur nature, des modifications diverses. Ainsi, si cela a eu lieu, par exemple, dans le voisinage de la houille, celle-ci pouvait, sous l'influence de la grande chaleur, subir la même transformation que par la distillation sèche et donner naissance à des produits semblables. C'est avec raison que l'*anthracite* (§ 57) doit être considéré comme le résidu de l'action de la chaleur sur la houille; car il ne contient pas plus d'hydrogène et d'oxygène que le coke, mais il s'en distingue par le manque de porosité, qu'explique parfaitement la pression qu'il a dû subir lors de sa formation. Le goudron de houille produit artificiellement est remplacé dans la nature par

218. L'huile de pétrole, CH. En beaucoup d'endroits, surtout dans le voisinage des volcans, il sort de la terre de petites sources d'une huile jaune, brune ou noire, qu'on nomme huile de pétrole, *naphte*, qui est employée, de même que les huiles volatiles du goudron, tant en médecine que dans l'industrie. En d'autres endroits, la terre est tellement pénétrée de cette huile, qu'on peut l'en extraire par la distillation.

Cette huile de pétrole vient de recevoir dans ces derniers temps une application générale à l'éclairage, pour lequel elle se substitue de plus en plus à l'huile de colza. De ce fait, elle constitue aujourd'hui un article de commerce de la plus haute importance.

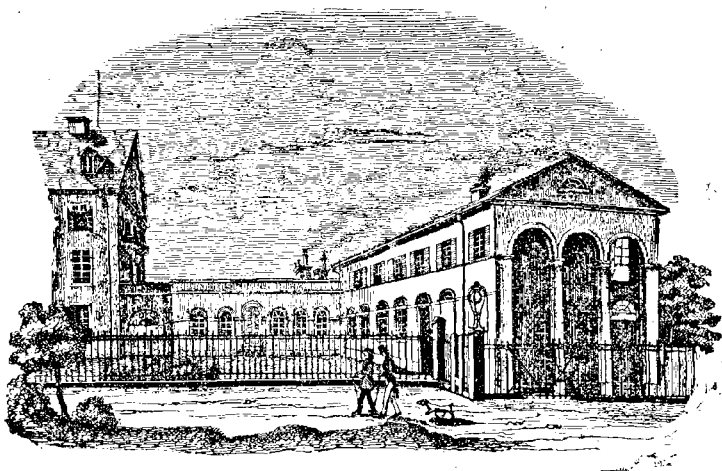
On trouve de même un goudron naturel, nommé *asphalte* ou *bitume*, à l'état mou ou entièrement durci. On s'en sert à différents usages, pour goudronner, comme combustible, comme mastic, comme couleur pour le fer et certains vernis; mêlé avec du sable, pour faire des cartons bitumineux pour toitures ou pour construire des trottoirs. On peut évidemment employer aux mêmes usages le goudron artificiel lorsque, par la distillation avec de l'eau, on lui a enlevé l'huile de goudron.

En terminant ici l'exposé des phénomènes chimiques, nous ne pouvons nous cacher qu'il y a beaucoup de choses qui n'ont été qu'effleurées, d'autres dont il n'a pas même été fait mention, choses qui cependant peuvent être utiles ou essentielles pour celui qui s'occupe de la chimie dans un but industriel ou scientifique. Ceux-là devront puiser à une des sources plus riches, qui ne manquent pas dans la littérature.

Notre observation s'applique surtout à la dernière partie, à l'exposé des

combinaisons organiques. Les difficultés que présente leur étude scientifique n'ont commencé que dans ces derniers temps à céder aux recherches laborieuses des chimistes, et resteront probablement encore pendant longtemps leur tâche principale.

Nous le disons avec plaisir : l'Allemagne a contribué d'une manière active et fructueuse à la construction de cette partie de l'édifice chimique. Aussi terminerons-nous ce chapitre en offrant aux lecteurs une vue du laboratoire de chimie de Giessen, où Liebig, tant par ses propres recherches que par celles faites, sous sa direction, par ses disciples et ses amis, a enrichi la science de faits nombreux et féconds.



NOTES SUPPLÉMENTAIRES.

A la fin du § 157 de la Physique, page 124, ajoutez :

MACHINE CALORIQUE. — La dilatation de l'air chaud vient de recevoir une application industrielle importante. Après de longs essais infructueux, le Suédois *Ericson* est parvenu à exécuter une machine, dite *machine calorique*, qui permet d'utiliser l'air chaud comme force motrice.

A la fin du § 181 de la Physique, page 163, ajoutez :

ANALYSE SPECTRALE. — Lorsqu'on examine plus attentivement le spectre formé par la lumière solaire, on y remarque en différentes places des raies foncées, qu'on appelle raies de Fraunhofer, dont il en est huit particulièrement apparentes. D'autres sources lumineuses aussi forment avec le prisme des images colorées, mais ces raies de Fraunhofer y font défaut. Par contre, on y observe des *raies particulières*, colorées et brillantes, qui sont dues aux matières contenues dans la flamme. Si c'est du sodium, par exemple, qui se volatilise dans cette dernière, il se produit à une place déterminée du spectre une raie *jaune* d'un brillant remarquable. Ce qui a tout particulièrement lieu d'étonner, c'est qu'il suffit des plus petites traces d'une matière pour produire des raies particulières dans le spectre; à tel point qu'on l'emploie sous le nom d'*analyse spectrale*, pour se convaincre de la présence ou de l'absence de ces matières. Il y a plus, cette méthode d'analyse a déjà amené la découverte de trois métaux qui étaient inconnus avant 1861, le *cæsium*, le *rubidium* et l'*indium*.

TABLE DES MATIÈRES.

CHIMIE.

	PAGES.
INTRODUCTION.	319
Combinaison chimique 321. Analyse 322. Corps simples 322. Affinité chimique 324. Équivalents chimiques 326. Loi des multiples 331. Les différentes espèces de combinaisons 332. Formules chimiques 332. Division de la chimie 336.	
I. CHIMIE INORGANIQUE	337
1. Métalloïdes.	339
Oxygène 339. Hydrogène 345. Eau 348. Azote 352. Soufre 355. Chlore 359. Brome 362. Iode 362. Fluor 363. Phosphore 363. Arsenic 366. Carbone 368. Fabrication du gaz d'éclairage 378. Cyanogène 383. Silicium 384. Bore 385.	
2. Métaux	386
a. Métaux légers.	390
Potassium 390. Sodium 394. Le verre 397. Ammoniaque 401. Calcium 402. Barium 405. Strontium 406. Magnésium 406. Aluminium 407. Porcelaine 409.	
b. Métaux pesants	412
Fer 412. Manganèse 417. Chrome 418. Cobalt 419. Nickel 420. Zinc 420. Étain 421. Plomb 422. Bismuth 423. Antimoine 423. Cuivre 424. Mercure 425. Argent 427. Or 429. Platine 430.	
Phénomènes électro-chimiques	430
Galvano-plastique 433.	
Effets chimiques de la lumière	434
Daguerréotype 436. Photographie 436.	
II. CHIMIE ORGANIQUE	437
Analyse organique.	439
Isomérie 442. Atome, Molécule, Équivalent 443.	
Théorie des volumes 446. Chaleur spécifique 447. Substitution 449. Radicaux composés 450. Séries homologues 451. Théorie des types 452. Division de la chimie organique 452.	

1. Acides organiques	453
Acide oxalique 453. Acide formique 454. Acide acétique 454. Acide butyrique 455. Acide valérianique 455. Acide margarique 456. Acide stéarique 456. Acide oléique 456. Les corps gras 456. Les savons 458. Glycerine 459. Cire 459. Acide benzoïque 460. Acide lactique 460. Acide malique 461. Acide tartrique 461. Acide citrique 461. Acide tannique 461. Acide hippurique 463. Acide urique 463. Acide fulminique 463.	
2. Alcools et leurs dérivés	464
Alcool éthylique 464. Éther 466. Éthers composés 467. Alcool méthylique 468. Alcool amylique 468.	
3. Bases organiques	468
Alcaloïdes du règne végétal 470 Quinine, Morphine, Strychnine, Caféine, Théine, Théobromine, Conine, Nicotine.	
Alcaloïdes du règne animal. 471 Créatine, Urée, Glycocolle, Leucine.	
Bases organiques artificielles 471 Aniline, Triéthylamine.	
4. Combinaisons organiques neutres :	
1. Hydrates de carbone.	475
Cellulose 473. Amidon 474. Gomme 476. Sucre 477.	
2. Matières colorantes	480
3. Huiles essentielles	482
4. Résines	483
5. Gélatine	486
Matière cornée 487.	
6. Matières albuminoïdes.	487
Albumine ou blanc d'œuf 489. Fibrine 489. Caséine 490. Diastase 490.	
Les aliments protéiques 490 L'œuf 491. Le lait 491. La viande 492. Le pain 492.	
Produits de la décomposition des combinaisons organiques. 494	
1. Décomposition spontanée.	495
Fermentation alcoolique 495. Les boissons spiritueuses, 496. La fermentation acétique 498. La putréfaction 499. La carbonisation lente 501.	
2. Distillation sèche.	505
Produits distillés naturels 507	

TABLE ALPHABÉTIQUE DÉTAILLÉE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME

qui devient de cette manière un

DICTIONNAIRE EXPLICATIF ET RAISONNÉ

DE TOUS LES TERMES EMPLOYÉS

DANS LES SCIENCES NATURELLES PROPREMENT DITES.

- A.**
- Absorption des gaz 40.
 » de la chaleur 438.
 » de la lumière 142.
 Accommodation 436.
 Accord 113.
 Acétate d'alumine 408.
 » d'ammoniaque 455.
 » de cuivre 455.
 » de plomb 454.
 » de potasse 455.
- Acides**
 » acétique 434.
 » arsénieux 563.
 » azoteux 554.
 » azotique 555.
 » benzoïque 460.
 » borique 585.
 » butyrique 435.
 » carbonique 574.
 » chlorhydrique 561.
 » chlorique 560.
 » chromique 418.
 » citrique 461.
 » cyanhydrique 585.
 » fluorhydrique 565.
 » formique 451.
 » fulminique 465.
 » gallique 462.
 » gras 456.
 » hippurique 465.
 » hypoazotique 555.
 » hypochloreux 560.
 » hypophosphoreux 565.
 » hyposulfureux 558.
 » lactique 460.
 » malique 461.
 » margarique 456.
 » métalliques 585.
 » mucique 477.
 » oléique 456.
- Acides**
 » organiques 455.
 » oxalique 455.
 » paralactique 460.
 » phénylique 507.
 » phosphoreux 565.
 » phosphorique 565.
 » picrique 481.
 » prussique 585.
 » pyrogallique 465.
 » silicique 584.
 » stéarique 456.
 » sulfhydrique 558.
 » sulfureux 558.
 » sulfurique 556.
 » tannique 461.
 » tartrique 461.
 » urique 465.
 » valérianique 455.
- Acier** 414.
Acroléine 457.
Adaher 266.
Adhésion 57.
Aérolithe 211. 510.
Affinité chimique 525.
 » élective 524.
Aglacé 501.
Aigle 267.
Aiguille aimantée 466.
Aimant 165.
Air atmosphérique 552.
Albâtre 404.
Albumine 489.
Alcaloïdes 469.
Alcool et ses dérivés 464.
 » amylique 468.
 » éthylique 464.
 » méthylique 468.
Alcoomètres (tabl. comp.) 466.
Aldébaran 265.
Aldéhyde 467.
Aliments protéiques 400.
Alizarine 481.
- Allumettes chimiques** 565.
Alliages 588.
Altair 267.
Aluminium 407.
Alun 408.
Amalgames 426.
Amidon 474.
Ammoniaque 401.
Amorphe 557.
Amphibrite 500.
Analyse chimique 522.
 » organique 459.
 » spectrale 165.
Ancre de l'aimant 166.
Andromède 265.
Angles 225.
Angle d'incidence 147.
 » de refraction 146.
 » visuel 158.
Animaux 45.
Aniline 471.
Année 247.
 » bisextile 291.
Antarès 267.
Antimoine 425.
Aphélie 271.
Appareil à potasse 459.
Arabine 476.
Arac 497.
Arc diurne et nocturne 248.
Arc-en-ciel 208.
Arcturus 265.
Aréomètre 92. 465.
 » de Nicholson 92.
Argent 427.
 » monnayé 425.
 » neuf 424.
Argentan 424.
Argenture galvanique 454.
Ariadne 500.
Arrow-root 475.
Arsenic 566.
Ascension droite 256.
Asphalte 508.

Assafetida 485.
 Astéroïdes 299.
 Astrée 500.
 Astres 219.
 Astrologie 222.
 Astronomie 219.
 Atalante 501.
 Atôme 26. 445.
 Aurore boréale 215.
 Axe céleste 246.
 » optique du miroir 144.
 » terrestre 240.
 Azimut 234.
 Azotate d'argent 428.
 » de baryte 405.
 » de mercure 426.
 » de plomb 425.
 » de soude 596.
 Azote 532.
 » (détermination) 440.

B.

Balance 50.
 » (étoile) 266.
 » romaine 52.
 Barium 405.
 Baromètre 98.
 Baryte 405.
 Bases 554.
 » organiques 468.
 Bâton de Jacob 267.
 Batterie électrique 177.
 Baumé (aréom.) 466.
 Baumes 484.
 » du Pérou 484.
 Beck (aréom.) 466.
 Bélier 266.
 Bellone 501.
 Benjoin 484.
 Benzine 460-507.
 Bessel 507.
 Bicarbonate de soude 596.
 Bière 497.
 Bismuth 425.
 Bisulfure de fer 416.
 Bitume 508.
 Blanc de Krems 425.
 » de plomb 422.
 » de zinc 420.
 » permanent 403.
 Bleu de Prusse 417.
 Bois de campêche 481.
 » de Fernambouc 481.
 » de Santal 484.
 » jaune 481.
 Boissons spiritueuses 496.
 Boîte à feu 154.
 » à vapeur 154.
 Borate de soude 597.
 Borax 597.
 Bore 585.
 Bougies stéariques 459.
 Bouillon 492.

Boussole 166.
 Bouteille de Leyde 175.
 Bouvier 268.
 Bras de levier 50.
 Braunitz 418.
 Brillants 569.
 Briques 411.
 Briquet à hydrogène 450.
 Brise de mer 205.
 Brôme 562.
 Bronze 424.
 Brouillards 205.

C.

Cabestan 73.
 Cadmium 524.
 Cadran solaire 282.
 Caffeine 470.
 Calamine 420.
 Calcium 402.
 Calendrier 290.
 » grégorien 291.
 Calliope 501.
 Calorique 117.
 Calomel 427.
 Calypso 501.
 Caméléon minéral 418.
 Camphène 482.
 Camphre 485.
 Cancer 265.
 Caoutchouc 484.
 » capacité calorifique 140.
 Capillarité 59.
 Capricorne 267.
 Caractères d'imprimerie 425.
 Carbonates
 » d'ammoniaque 401.
 » de baryte 406.
 » de chaux 405.
 » de cuivre 425.
 » de magnésie 406.
 » d'oxydure de fer 416.
 » de plomb 422.
 » de potasse 591.
 Carbone 508.
 Carbonisation lente 501.
 Carmin 481.
 Carthame 481.
 Cartier (aréom.) 466.
 Caséine 490.
 Cassiopée 265.
 Cassitérite 421.
 Castor et Pollux 266.
 Ceinture d'Orion 267.
 Cellulose 475.
 Celsius (therm.) 420.
 Centre géométrique 444.
 » de gravité 45.
 » optique 444.
 Cercle 228.
 Cercle méridien 254.
 Cercles verticaux 255.

Cérès 501.
 Céroune 459.
 Cerium 524.
 Céruse 422.
 Cinabre 427.
 Circé 501.
 Chafne de Galvani 181.
 Chaleur 117.
 » latente 159.
 » rayonnante 155.
 » (répartition) 195.
 » spécifique 140.
 Chambre barométrique 98.
 Charbon animal 572.
 » azoté 572.
 » de bois 570.
 Chaudière à vapeur 150.
 Chauffe-vin 126.
 Chaux 402.
 Chèvre 265.
 Chien, grand et petit 267.
 Chimie inorganique 537.
 » organique 457.
 Chlorate de potasse 595.
 Chlore 559.
 Chlorhydrate d'ammoniaque 401.
 Chlorure de fer 417.
 » de mercure 427.
 Chloroforme 468.
 Chlorophylle 481.
 Chlorures
 » d'argent 428.
 » de calcium 405.
 » de chaux 404.
 » d'étain 421.
 » de magnésium 406.
 » de mercure 427.
 » d'or 429.
 » de platine et d'ammoniaque 450.
 » de sodium 595.
 Choc 69.
 Choc en retour 212.
 Chrôme 418.
 Chromate de mercure 419.
 » de plomb 419.
 » de potasse 419.
 Chute dans le vide 29.
 » des corps. 62.
 Ciel 219.
 Ciel rouge du soir 208.
 Climats et saisons 277.
 Cloche pneumatique 101.
 » à plongeur 24.
 Cocbenille 481.
 Cocher 265.
 Cœur du scorpion 267.
 Cesium 524.
 Cohésion 54.
 Coïn 59.
 Coke 505.
 Collodion 474.
 Colophane 484.
 Columbian 524.

- Combinaison chimique 521.
 Combinaisons de l'oxygène 545.
 Combinaisons de second ordre 355.
 Combustibles comparés 140 503.
 Comètes 508.
 Commotion électrique 176.
 Composés organiques neutres 472.
 Composition des forces 43.
 Condensateur 177.
 Condenseur 132.
 Conducteurs de la chaleur 156.
 Conducteurs de l'électricité 117.
 Conductibilité de la chaleur 135.
 Conche 470.
 Conjonction 289.
 Consonnance 113.
 Constellations zodiacales 263.
 Copernic 505.
 Corindon 407.
 Corps 20.
 Corps célestes 219.
 » isomères 442.
 » inorganiques 15.
 » simples 322.
 » simples (tableau des) 525.
 Coton poudre 474.
 Couleurs 161.
 Couleurs prismatiques 162.
 » de contraste 160.
 Coumarine 485.
 Courant d'air 125.
 » électrique 184.
 » induit 185.
 Courroie sans fin 74.
 Créatine 470.
 Crème 491.
 » de tartre 461.
 Crémomètre 491.
 Créosote 507.
 Cristallin 134.
 Cristallisation 35.
 Cristallisé 337.
 Crownlas 508.
 Cryolite 407.
 Guir 486.
 Cuivre 424.
 Cyanogène 585.
 Cyanure de fer et de potassium 594.
 Cyanure de mercure 426.
- D.**
- Daguerrotypes 456.
 Daphné 300.
 Déclinaison 256.
 Déclinaison de l'aiguille magnét. 169.
 Décomposition spontanée 495.
 Degrés de latitude 242.
 Demitons 115.
 Densité 31.
 Désagrégation 495.
 Désinfection de l'air 560.
 Détermination des distances 255.
 Dextrine 476.
 Diamant 568.
 Diastase 490.
 Didyme 524.
 Diéthylamine 472.
 Diffusion de la lumière 142.
 Dilatabilité 27.
 Dilatation par la chaleur 118.
 Dissonance 113.
 Distance 252.
 Distance stellaire 262.
 » zénithale 255.
 » de la vue distincte 155.
 » et grandeur des astres 236.
 Distillation 125.
 Distillation sèche 505.
 Distribution de vapeur 154.
 Divisibilité 25.
 Division de la terre 240.
 » de la physique 21.
 » de la chimie 536.
 » des métaux 588.
 Doris 501.
 Dorure au feu 429.
 » galvanique 454.
 Dynamomètre 42.
- E.**
- Eau 548.
 Eau de cristallisation 350.
 » distillée 351.
 » forte 534.
 » gazeuse 575.
 » de Goulard 455.
 » minérale 551.
 » régale 561.
 Eau de-vie 497.
 Ébullition 124.
 Échelle de réduction 252.
 Écho 117.
 Éclat métallique 386.
 Éclipses 294.
 Éclipse annulaire 296.
 » de lune, 294.
 » de soleil 295.
 » partielle 295.
 Écliptique 250.
 Effervescence 374.
 Effet de contact 526.
 Effets chimiques de la lumière 454.
 Efflorescence 350.
 Égérie 500.
 Élasticité 35.
 Électrisation par influence 175.
 Électricité 170.
 » par frottement 171.
 » par contact 181.
 » positive et négative 175.
 Électriques (corps) 171.
 Électrodes 182.
 Electrolyse 431.
 Electro-magnétisme 185.
 Electrophore 175.
 Electroscopie 175.
 Ellipse 229.
 Eméri 407.
 Émétique 461.
 Emplâtre de la mère 459.
 Empois 475.
 Emulsion 457.
 Encre 462.
 Encre ineffaçable 428.
 » sympathique 420.
 Endosmose 59.
 Éponge de platine 450.
 Équateur céleste 247.
 » de l'aimant 165.
 » terrestre 240.
 Équation du temps 281.
 Équilibre et mouvement
 » des corps solides 41.
 » des corps liquides 86.
 » des corps gazeux 94.
 » stable 48.
 Équinoxes 249.
 Équivalents chimiques 525 445.
 Erbium 524.
 Espace 20.
 Espace universel 219.
 Espèces de combinaisons 352.
 Esprit de bois 468.
 » de corne de cerf 507.
 » de vin 465.
 Essences 482.
 » d'ail 485.
 » d'amandes amères 485.
 » de bergamotte 483.
 » de camomille 485.
 » de cannelle 485.
 » de citron 482.
 » de Mirban 460.
 » de moutarde noire 485.
 » de poires 468.
 » de pommes 468.
 » de terre 468.
 » de térébenthine 484.

Étain 421.
États particuliers de la matière 35.
Étendue 22.
Étendue de la terre 240.
Éther 466.
Éthers

- » acétique 467.
- » azotéux 467.
- » butyrique 467.
- » chlorhydrique 467.
- » composés 467.
- » œnanthique 467.
- » valérianique 467.

Éthylamine 472.
Étincelle électrique 171.
Étoiles

- » doubles 511.
- » du matin 505.
- » du soir 505.
- » filantes 211, 510.
- » fixes 271.
- » polaire 246.

Eugénie 501.
Eunomie 501.
Euphrosine 501.
Europe 501.
Euterpe 500.
Évaporation 124.
Excentricité de l'orbite 271.
Expérimentation 10.
Exploration 10.
Extrait de Saturne 455.

F.

Fahrenheit (therm.) 420.
Faïence 410.
Fata morgana 161.
Faux argent en feuilles 421.
Fécule 474.
Fer 412.
Fermentation 495.
» acide 498
» alcoolique 495.
Fêtes mobiles 292.
Feu sacré de Baku 577.
Fibre ligneuse 475.
Fibrine 489.
Fidès 501.
Fil à plomb 29.
Flamme 381.
Fleurs de soufre 335.
Flintglass 598.
Flora 500.
Fluor 565.
Flux et reflux 295.
Foie de soufre 594.
Fomalhaut 267.
Fonte blanche 415.
Force centrifuge 67.
» naturelle 44.
» parallèle 44.

Forme cristalline 557.
» de la terre 259.
Formules chimiques 552.
Fortune 500.
Foyer du miroir 157.
Frottement 70.
Fulgurites 215.

G.

Galilée 505.
Galvanisme 180.
Galvanoplastie 185, 455.
Garance 481.
Gaulle 481.
Gauss 508.
Gaz deutoxyde d'azote 554.
» d'éclairage 578.
» explosif 548.
» permanents 128.
Gazogène Liebig 575.
Gélatine végétale 477.
Géméaux 266.
Générateur 150.
Givre 207.
Globe céleste 257.
» terrestre 242.
Globes de feu 510.
Glucinium 524.
Glucose 478.
Glycérine 456.
Glycocolle 471.
Gomme adragante 477.
» ammoniacale 485.
» arabique 476.
» gutte 485.
» laque 484.
Goudron 506.
Gouttes d'Hoffman 467.
Graisses 456.
Grandeur apparente et réelle 158.
Grande Ourse 265.
Graphite 575.
Graphomètre 227.
Gravitation 29.
Gravure sur verre 365.
Grisou 577.
Grotte du chien 575.
Guano 465.
Guericke (Otto de) 105.
Gutta percha 485.

H.

Harmonia 500.
Harmonica chimique 547.
Hauteur polaire et équatoriale 252.
Hébé 500.
Hercule 511.

Herschel (sir J.) 507.
Hestia 500.
Histoire des sciences naturelles 5.
Houille 805.
Horizon 245.
Horizontal 29.
Horloge 80.
Huiles

- » de cristal 507.
- » volatiles 482.
- » d'ananas 467.
- » de cognac 467.
- » de goudron 507.
- » de résine 484.
- » siccatives 457.
- » de pétrole 508.

Humectation 58.
Hurricane 205.
Hyades 266.
Hydracides 548.
Hydrates 549.
Hydrates de carbone 475.
Hydrogène 545.

I.

» antimonié 568.
» arsénié 567.
» deutocarboné 377.
» phosphoré 566.
» protocarboné 377.
Hygiène 501.
Hygromètre 204.
Hypochlorite de chaux 404.
Hyposulfite de soude 597.
Illusion optique 160.
Images accidentelles 160.
Image virtuelle 145.
Impénétrabilité 24.
Indigo 481.
Indium 524.
Induction galvanique 185.
» magnétique 188.
Inertie 23.
Instrument des passages 256.
Intensité 42.
Interférence 110.
Inuline 476.
Iode 562.
Iodure d'argent 428.
» d'azote 565.
» de potassium 594.
Jour sidéral 281.
» solaire 249.
Irène 501.
Iridium 524.
Iris 500.
Isis 500.
Ischimènes 199.
Isolants 172.
Isomérisation 442.

Isomorphisme 409.
Isothères 199.
Isothermes 199.
Juno 501.
Jupiter 503.

K.

Kaléidoscope 144.
Kaolin 409.
Keppler 506.
Kilo 31.

L.

Lætitia 501.
Lait 491.
" de soufre 594.
Laiton 424.
Lampe de sûreté 377.
Lanthane 524.
Laques 408.
Latitude 242.
Lazulite 411.
Léda 501.
Légumes comprimés 501.
Leucome 476.
Lentilles 148.
Leucine 471.
Leucothée 501.
Levain 495.
Lever 50.
" à bras égaux 50.
" à bras inégaux 52.
" à bras unique 53.
" coudé 53.
Levure 496.
Lichen d'Islande 477.
Lichénine 476.
Ligne d'apsides 271.
" méridienne 248.
" neutre 163.
" nodale 116.
Lignite 502.
Lion 267.
Liquueur de cailloux 395.
Lithium 524.
Livre (la) 51.
Longitude 241.
Loupe 151.
Lumière 144.
" cendrée 290.
" de Drummond 349.
" polarisée 164.
Lune 284.
Lunettes 156.
Lunette d'approche 152.
" méridienne 256.
" d'opéra 152.
Lutetia 500.
Lyre 265.

M.

Machine à basse pression 150.
" calorifique 124.
" centrifuge 68.
" électrique 177.
" à haute pression 133.
" pneumatique 101.
" à vapeur 129.
Magnésic 406.
Magnésium 406.
Magnétisme 163.
Manganate de potasse 418.
Manganèse 417.
Manivelle 75.
Marais salants 595.
Marées 292.
Mariotte (loi de) 95.
Marne 409.
Mars 505.
Massalia 500.
Masse 26.
Mastic 484.
Mathématiques 20.
Matière 20.
Matières albuminoïdes 487.
" colorantes 481.
" cornées 487.
" étherée 115.
" gélatineuses 486.
" protéiques 488.
Mécanique 72.
Mélange 522.
Mélasse 478.
Melpomène 500.
Mercure 425.
" fulminant 465.
" (planète) 502.
Méridiens 241.
" céleste 254.
" magnétique 169.
Mérycine 459.
Mesurage 251.
" trigonométrique 253.
Mesures 22.
" décimales 25.
" de longueur 22.
" (tableau des) 251.
Métal britannique 425.
" de cloche 424.
Métalloïdes 523-559.
Métaux 586.
Météores aériens 201.
" aqueux 204.
" lumineux 208.
Météorologie 192.
Métis 500.
Mètre 22.
Meule dormante et courante 78.
Microscope 151.

Mine de plomb 573.
Minéraux 14.
Minium rouge 422.
Minuterie 85.
Mirage 160.
Miroirs 142.
" arsenical 567.
" concave 157.
Molécule 443.
Molybdène 524.
Moment statique 50.
Monnaies 427.
Monocorde 114.
Monochlorure de fer 417.
Montre de poche 82.
Mordants 480.
Morphine 470.
Moufle 54.
Moulin 77.
Moussons 209.
Mouvement 41-60.
" apparent des astres 246.
" curvilignes 66.
" des planètes 297.
" de rotation 62.
Mucilage végétal 477.
Multiplicateur 186.
Murexyde 465.
Myopie 156.
Myrrhe 485.

N.

Nadir 244.
Naphtaline 507.
Naphte 508.
Nature 9.
Neige 206.
Nemausa 500.
Neptune 501.
Nickel 420.
Nicotine 470.
Niobium 524.
Nitre brut des Indes 592.
Nitrates artificielles 59.
Nitrobenzine 460.
Nœuds lunaires 286.
Noir de fumée 372.
" d'imprimerie 562.
Nombre 20.
Nouvelle lune 289.
Nuages 205.
Nysa 501.

O.

Objectif 151.
Objet 10.
Observation 10.
Ogres 409.

- Oculaire 131.
 Oeuf 491.
 Olbers 508.
 Ombre 160.
 Ombromètres 206.
 Ondulation 109.
 Opium 485.
 Opposition 288.
 Or 429.
 Or mussif 422.
 Orage 211.
 Orbite terrestre 271.
 Orpiment 367.
 Orseille 481.
 Oscillation 108.
 Osmium 324.
 Ouragans 205.
 Outremer 411.
 Oxacydes 344.
 Oxydation 341.
Oxydes
 » d'aluminium 407.
 » d'antimoine 424.
 » de baryum 405.
 » de calcium 402.
 » de carbone 376.
 » de chrome 419.
 » de cuivre 425.
 » d'étain 421.
 » de fer 416.
 » de mercure 426.
 » métalliques 386.
 » de plomb 422.
 » de potassium 392.
 » de zinc 420.
Oxydules
 » de cobalt 419.
 » de fer 416.
 » de manganèse 418.
 Oxygène 339.
 Ozône 345.
- P.**
- Pain 492.
 Palès 501.
 Palladium 324.
 Pallas 501.
 Papier photographique 457.
 Papier réactif 555.
 Pâques 202.
 Parabole 250.
 Paraffine 507.
 Parallaxe 277.
 Parallélogramme des forces 48.
 Paratonnerres 212.
 Parthénope 300.
 Passage de Mercure 502.
 Pégase 267.
 Peinture sur verre 401.
 Pémican 492.
 Pénombre 294.
 Pentecôte 202.
 Pépites 429.
 Périhélie 271.
 Peroxyde de manganèse 418.
 Persée 265.
 Perturbations 507.
 Pesanteur 27.
 Pèse-liqueur 465.
 Petite Ourse 265.
 Phases de la lune 287.
 Phenakistikoïpe 159.
 Phénomène 10.
 » chimique 520.
 » électro chimique 450.
 Phocée 509.
 Phosphate de chaux 404.
 » de magnésie 407.
 Phosphore 563.
 » amorphe 564.
 Photogène 507.
 Photographie 456.
 Physique 19.
 Pied (mesure.) 25.
 Pierre de touche 428.
 Pile de Volta 181.
 Piles à effet constant 185.
 Pipes de terre 411.
 Places identiques 159.
 Plan incliné 56.
 Planètes 236.
 » supérieures 505.
 » inférieures 502.
 » (tableau des) 300.
 Platine 450.
 Plâtre 404.
 Pléiades 266.
 Pleine lune 289.
 Plomb 422.
 Pluie 205.
 Pluviomètre. 206.
 Poids 30.
 » des divers pays 31.
 » spécifique 32.
 Point d'appui 44.
 Points cardinaux 248.
 » culminants 248.
 Point équinoxial 250.
 Poissons 206.
 Poix de Bourgogne 484.
 » noire 484.
 Polarisation de la lumière 163.
 Pôles de l'aimant 165.
 » célestes 246.
 » terrestres 240.
 Politure 485.
 Polyhymnia 501.
 Pomme 500.
 Pompe aspirante 104.
 » foulante 105.
 » à incendie 105.
 » pneumatique 100.
 Porcelaine 409.
 Porosité 26.
 Potasse caustique 592.
 Potassium 590.
 Poterie de grès 411.
 Poudre à tirer 395.
 Poulie fixe 51.
 » mobile 154.
 Pourpre de Cassius 429.
 Poussée 90.
 Poussière 266.
 Pouvoir émissif 158.
 Précession 279.
 Précipité 550.
 Précipités de l'acide sulfhydr. 339.
 Premier quartier 289.
 Presbytie 156.
 Presse hydraulique 88.
 Pression de l'air 201.
 Principe d'Archimède 91.
 Procyon 267.
 Production d'un corps 356.
 Propagation de la lumière 141.
 Propagation des sons 116.
 Proportions multiples 531.
 444.
 Propriétés générales des corps 32.
 Propriétés chimiques 520.
 Proserpine 501.
 Prussiate de potasse 417.
 Psyché 500.
 Psychromètre 205.
 Ptolémée (système) 505.
 Purpurate d'ammoniaque 465.
 Putréfaction 499.
 Pyrolusite 418.
 Pyroxyline 474.
- Q.**
- Quadrant 227.
 Quadratures de la lune 288.
 Quantité de mouvement 45.
 Quercitron 481.
 Quinine 470.
- R.**
- Radical d'un oxyde 341.
 Radicaux composés 450.
 Raffinage du sucre 478.
 Rapporteur 225.
 Réalgar 568.
 Réaumur (therm.) 120.
 Rectascension 236.
 Réflexion de la chaleur 157.
 » de la lumière 142.
 » des ondes 111.

- Réforme grégorienne 291.
 Réfraction de la lumière 146.
 Régulateur 452.
 Régulus 267.
 Répartition de la chaleur 195.
 Repos 61. †
 Résines 485.
 » copal 484.
 » de jalap 484.
 Rhodium 324.
 Rhum 497.
 Rigel 267.
 Rosée 207.
 Roucou 481.
 Roues d'angle 76.
 » de champ 76.
 » dentées 75.
 Rubidium 324.
 Rubinium 324.
 Ruthénium 324.
- S.**
- Safran 481.
 Sagittaire 266.
 Sagou 475.
 Saipêtre 392.
 » du Chili 392.
 Sanderaque 484.
 Sang-dragon 481.
 Satellites 505.
 Saturation 539.
 Saturne 305.
 Savons 458.
 Sciences des objets 15.
 » des phénomènes 15.
 » naturelles 17.
 Scorie 415.
 Scorpion 266.
 Second quartier 289.
 Sélénium 324.
 Sels 586.
 » ammoniac 491.
 » anhydres 530.
 » de cuisine 585.
 » halogènes 587.
 » d'oselle 455.
 Serein 207.
 Série électrique 452.
 Séries homologues 451.
 Sesquichlorure de fer 417.
 » de chrome 419.
 Silicate d'alumine 419.
 » de chaux 404.
 » de soude 397.
 Silice 585.
 Silicium 584.
 Similor 454.
 Siphon 106.
 Sodium 394.
 Soleil 269.
 Soleil et terre 267.
 Soleil, terre et lune 287.
 Solénoïde 186.
 Solstices 275.
 Son 107.
 Son dans le vide 108.
 Sonomètre 114.
 Soude 394.
 Soudure des ferblantiers 421.
 Soufre 354.
 Sources de la lumière 141.
 » thermales 351.
 Spath pesant 45.
 Spectre solaire 162.
 Sphère 229.
 Spiral de montre 84.
 Stéaroptène 482.
 Stéréoscope 159.
 Storax 484.
 Strontium 406.
 Strychnine 49.
 Sublimation 125.
 Sublimé corrosif 427.
 Substitution 449.
 Sucre d'amidon 476.
 » de betteraves 479.
 » brut 478.
 » candi 474.
 » de canne 477.
 » de lait 480.
 » de manne 480.
 » de raisin 479.
 » de Saturne 454.
 Sulfate de chaux 404.
 » de cuivre 425.
 » de magnésie 406.
 » de protoxyde de fer 416.
 » de soude 596.
 » de zinc 420.
 Sulfure d'arsenic 368.
 » de calcium 405.
 » de carbone 583.
 » d'étain 421.
 » de mercure 427.
 » de plomb 425.
 Symbole chimique 525.
 Synthèse 525.
 Système du monde 511.
 » planétaire 298, 503.
 » d'ondes 110.
 Taureau 266.
 Télégraphe électrique 188.
 Télescope 153.
 » géant de Herschel 515.
 Tellure 324.
 Température 119.
 » moyenne 195.
 Temps 20.
 Tenacité 56.
 Tension des gaz 94.
 Terbium 324.
 Térébenthine 484.
 Terre et lune 284.
 Terre à foulon 409.
 Terre de pipe 409.
 Terre à porcelaine 409.
 Thalie 501.
 Thallium 324.
 Thaumatrope 159.
 Thénie 470.
 Thémis 501.
 Théobromine 470.
 Théorie atomique 445.
 » des types 452.
 » des volumes 446.
 Thermo-électricité 191.
 Thermomètre 119.
 Thermométrographe 196.
 Thétis 500.
 Thorium 324.
 Titane 324.
 Titre légal 428.
 Tornados 205.
 Tourbe 502.
 Transmission du calorifique 135.
 Transmission des mouvements 75.
 Trempe 415.
 Treuil ou tour 72.
 Triéthylamine 472.
 Trombes 205.
 Tropiques 276.
 Tubes capillaires 59.
 Tube à combustion 459.
 Tuiles 411.
 Tungstène 324.
- T.**
- Table d'harmonie 115.
 Taches nébuleuses 312.
 » obscures du soleil 270.
 Tannage 487.
 Tannin 462.
 Tantale 324.
 Tapioca 475.
 Tartre 461.
 » stibié 461.
- U.**
- Urania 509.
 Uranium 324.
 Urée 471.
- V.**
- Vanadium 324.
 Vapeurs 128.
 Vases de terre 411.
 Végétaux 15.

Vents 201.
 Vents alizés 202.
 Venus 297.
 Verdet 435.
 Vernis 485.
 Verre 397.
 » diverses sortes 397.
 » ardent 149.
 » coloré 400.
 » soluble 595.
 Verseau 266.
 Vert de gris 425.
 » de Scheele 425.
 Vertical 29.
 Vesta 300.
 Viande 492.
 » salée 492.
 Vibration 108.
 Victoria 500.
 Vide de Toricelli 98.
 Vierge 266.
 Vin 497.
 Vinaigre 498.
 » de bois 507.

Virginie 501.
 Vis 59.
 Vision 154.
 Vitesse 62.
 » accélérée 65.
 » de la lumière 141.
 » moyenne 64.
 » du son 116.
 Vitriol blanc 420.
 » bleu 425.
 » vert 416.
 Voie lactée 261.
 Volant 76.
 Volatils (corps) 125.
 Volume 25.
 » atomique 426.

W.

Wega 265.
 Withérite 405.
 Wolfram 524.

Y.

Yttrium 524.

Z.

Zénith 244.
 Zinc 420.
 Zirconium 524.
 Zodiaque 279.
 Zones 275.
 » de neige 505.
 » polaires 275.
 » tempérées 277.
 » tropiques 277.