

L'ÉCOLE MUTUELLE
COURS COMPLET D'ÉDUCATION POPULAIRE

PHYSIQUE

PAR

Gustave FRANCOLIN

PROFESSEUR DE SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES

TOME PREMIER

PARIS
AUX BUREAUX DE LA PUBLICATION

5, RUE COQ-HÉRON, 5

1866

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

PHYSIQUE

La nature au milieu de laquelle nous vivons, la terre qui nous porte, l'air que nous respirons, l'eau que nous buvons, celle qui tombe du ciel et qui fait croître les plantes, les mers où nous naviguons, le soleil qui nous éclaire, la chaleur, le froid que nous sentons, les orages, les éclairs, la foudre, tout ce qui se passe autour de nous, tous les phénomènes qui frappent nos sens, ont des causes que, de tout temps, l'homme a cherché à connaître. Depuis des siècles, les phénomènes que nous venons d'énumérer se sont toujours présentés de même à nos yeux ; on a constamment vu les pierres et les matières lourdes tomber sur la terre, lorsqu'on les abandonnait à elles-mêmes, et au contraire la fumée, les vapeurs monter dans l'air ; mais on n'a pas toujours su la cause de ces faits différents. Pendant longtemps on a attribué ce qui se passait sur la terre à des volontés mystérieuses et capricieuses, fées, génies, démons, dieux, qui produisaient arbitrairement la chaleur, la foudre, la lumière, les orages, les vents, etc. Aussi, dans les temps reculés et barbares, tout ce qui

entourait les hommes les effrayait et les dominait ; ils adoraient alors le soleil, respectaient la foudre, craignaient l'eau, suppliaient le feu, tremblaient d'effroi dans les ténèbres, et toutes les forces de la nature leur étaient tellement supérieures, ils avaient si peu de moyens d'en détourner les coups funestes ou d'en mettre à profit les ressources qu'ils les divisaient en les priant de leur être favorables et clémentes.

Mais peu à peu, bien lentement, les hommes ou plutôt quelques génies courageux, qu'on a souvent persécutés pour leur courage, ont jeté un regard plus ferme et plus attentif sur la nature. Des siècles d'observation ont appris aux Aristote, aux Archimède, aux Galilée, aux Newton, aux alchimistes du moyen âge, aux nombreux savants de tous les pays, que les phénomènes naturels s'enchaînaient les uns les autres, qu'ils obéissaient à des causes toujours les mêmes, qu'ils avaient des règles fixes et des lois, et que, lorsqu'on connaissait ces causes et ces lois, on pouvait ou reproduire ce que l'on voit dans la nature, feu, vent, lumière, etc., ou se garantir des inconvénients ou des dangers que font courir à l'homme certaines révolutions du globe. Dès lors, on n'a plus été effrayé par l'inconnu.

Ce n'est donc pas seulement par curiosité qu'on a cherché à connaître d'une manière positive les lois qui régissent l'eau, l'air, la terre, la chaleur, le soleil, l'électricité ; c'est d'abord parce que ces connaissances étendent le pouvoir de l'homme sur la nature, et

élèvent notre intelligence vers une contemplation plus haute et plus sereine des lois de la création et de l'ordre de l'univers, et puis aussi parce qu'à l'aide de cette connaissance, nous pouvons multiplier nos jouissances et employer à notre usage les forces et les matériaux que nous offre le monde entier ; prendre à la nature son électricité pour faire le télégraphe électrique, sa chaleur et son eau pour les transformer en machines à vapeur, sa lumière pour créer la photographie ; inventer la boussole pour nous guider sur mer, le paratonnerre pour nous abriter de la foudre, le gaz d'éclairage pour y voir la nuit comme le jour, les lunettes pour rapprocher de nous les objets éloignés ; en un mot, pour trouver ces mille et mille inventions qui ont pour objet d'augmenter notre bien-être et notre puissance.

Examinons donc tous les corps que contient la terre, l'air, l'eau, les solides, les liquides, les vapeurs ou les gaz ; voyons quelles sont les raisons de leur poids, de leur dureté ou de leur élasticité, les causes du chaud, du froid, etc. ; étudions comment on peut modifier ces qualités des corps et comment on s'en sert dans l'industrie.

Matière. — Corps divers. — Solides, liquides, gazeux. — Remarquons d'abord que sur la terre nous voyons des matières *solides*, comme la pierre, le bois, le fer, les métaux ; d'autres *liquides* comme l'eau, l'huile ; d'autres *gazeuses*, comme la vapeur d'eau et l'air qui nous entoure, que nous ne voyons pas, mais que nous sentons lorsqu'il est en mou-

vement et qu'il produit ce que nous appelons le *vent*.

Mais il n'est aucun de ces corps, ou du moins il n'y en a que bien peu, qui restent toujours dans l'état où nous les voyons; presque tous changent d'aspect, au contraire, et nous savons que le bois brûle et se réduit partie en cendres, partie en fumée, ou en vapeur; de *solide* il est donc devenu *gazeux*; — le fer fond par la chaleur et coule alors comme un *liquide*, il peut même se volatiliser, c'est-à-dire se changer en *vapeur*; le plomb *fond* également, et fortement chauffé, il disparaît et se *vaporise*; ces corps ont donc été tour à tour solides, liquides et gazeux; tous les solides ne passent pas ainsi par ces trois états, mais tous en subissent au moins deux.

Les liquides comme l'eau, le vin, l'huile, le vinaigre, les acides, changent aussi d'aspect; la chaleur les change en *vapeur*, et le froid les change en *glace*, c'est-à-dire en un corps *solide*.

Enfin on a pu, comme nous le verrons, rendre *liquides* des gaz analogues à l'air, en les comprimant fortement et en les refroidissant: on pourra peut-être même un jour liquéfier l'air. On sait d'ailleurs que les vapeurs, comme la vapeur d'eau, peuvent redevenir liquides; — lorsqu'on recouvre une casserole d'eau bouillante d'un couvercle, qui arrête la vapeur au passage, ou même seulement lorsqu'on pose sa main dans un courant de vapeur d'eau, le couvercle et la main se couvrent bientôt d'eau; c'est la va-

peur qui, refroidie par ces obstacles, a repris l'état liquide qu'elle avait auparavant.

On le voit, c'est à la chaleur en général qu'il faut attribuer les changements d'état des solides en liquides ou en gaz, et à la diminution de chaleur qu'il faut rapporter le changement des vapeurs ou gaz en liquides et en solides; nous verrons plus tard comment cela se fait et comment l'industrie utilise ces divers changements. Mais avant d'examiner les causes de ces variations d'état, nous avons à nous occuper du parti que l'on peut tirer des solides, des liquides et des gaz tels qu'ils se rencontrent ordinairement dans la nature.

Ce qui fait la différence entre les solides et les liquides, c'est que les premiers sont plus difficiles à diviser, à séparer en plusieurs parties, qu'ils sont plus résistants, plus stables, plus durs et plus tenaces, tandis que les seconds ont une grande mobilité et sont très-aisément divisibles, mais non pas de la même manière que les solides. On peut les diviser en les versant dans d'autres vases ou en les projetant en gouttes sur la terre, mais on ne peut les diviser avec un couteau; sous ce rapport, les liquides ont donc une certaine ressemblance avec les solides réduits en poussière et très-divisés; tandis qu'ils n'en ont aucune avec les corps agglomérés en masses compactes.

La matière est impénétrable. — Mais ce qui caractérise tous les corps et tous les matériaux solides, liquides, gaz ou vapeurs qu'on trouve sur et dans la terre, c'est qu'ils sont

impénétrables et indestructibles ; c'est-à-dire qu'on ne peut rien mettre à la place qu'ils occupent sans les déranger et que deux substances ne peuvent occuper en même temps le même espace. Quand j'aurai divisé chaque corps en très-petites parties ou quand je l'aurai rendu liquide ou gazeux, j'aurai changé sa forme ou son état, mais je ne l'aurai pas détruit, il existera toujours sous un aspect ou sous un autre ; car rien ne se perd et rien ne se détruit dans la nature.

Lorsque je prends un objet matériel, table, bois, fer, pierre, et que j'essaye d'y faire pénétrer un autre objet, papier, cuivre, linge, je n'y réussis pas ; je peux bien faire un trou dans ces objets, enlever de ces corps des parcelles de matière, telles que sciure de bois, limaille de fer, grains de plâtre, et mettre dans les cavités que j'ai obtenues mon cuivre, mon papier ou mon linge, mais je n'ai pas détruit ce que j'en ai enlevé ; ma sciure de bois ou ma limaille de fer sont toujours impénétrables, je peux les diviser encore et non les anéantir. Ce que j'ai dérangé, c'est l'agrégation des grains de matière. J'ai obtenu le même résultat que lorsque, dans un tas de sable, je fais un trou ou que je mets un bâton dans l'eau. Je déplace bien les petites parties de matière ou de liquide, je les serre l'une contre l'autre, mais je n'ai pénétré que dans un corps et non dans les plus petites et les plus intimes parties de matière de ce corps.

Les molécules des gaz ne sont pas moins impénétrables que celles des solides et des

liquides. Si l'on enfonce dans l'eau un verre dont l'ouverture est tournée en bas, l'eau ne s'y élève pas, parce que l'air intérieur, qui est impénétrable, empêche l'entrée de l'eau. On peut déplacer ses molécules mobiles; on ne peut les pénétrer, car ce serait les anéantir.

Une cuiller plongée dans un verre plein le fait déborder par la même raison.

DIVISIBILITÉ

Mais ces parties si petites, que je me représente comme toujours divisibles et toujours indestructibles, existent-elles réellement? Lorsque je prends un corps, pierre ou fil et que je le broie ou que je le coupe en petits morceaux aussi fins que possible, je puis arriver à une division telle que je ne voie plus même les petites parcelles que j'ai faites. Mais je puis imaginer des yeux meilleurs que les miens, comme ceux de certains petits insectes qui existent véritablement dans la nature, et des instruments, ciseaux ou autres beaucoup plus petits que ceux dont je me sers, et à l'aide de ces deux moyens continuer à diviser mes grains de poussière, et arriver à une divisibilité infinie de la matière, par laquelle j'obtiendrais des parcelles si petites qu'on peut à peine s'en faire une idée.

Or, cette imagination n'est pas une erreur, et bien des faits nous prouvent que la matière peut se diviser jusqu'à des proportions infiniment petites.

Exemples de divisibilité. — *Infiniment petits.* — Ainsi les fils de laine ont un diamètre de 0^m,00005 ou 5 cent millièmes de millimètre; la soie n'a qu'un cent millième de millimètre, et cependant ces fils sont composés de matières qu'on pourrait séparer; eux-mêmes, on peut les diviser encore beaucoup. Si ces fils si fins, au lieu d'être flexibles, étaient rigides, un fil mille fois plus fin que la soie pourrait traverser notre corps de part en part, comme une épée, sans que nous le sentions et sans que les fonctions de notre vie en fussent troublées.

Et cette finesse que nous supposons à ce fil rigide n'est pas une chimère, elle existe, et nous la produisons même souvent. Les minces lames d'eau brillantes que produisent les bulles de savon ont au sommet une épaisseur de 1 dix millième de millimètre, et 1 cent millième avant d'éclater.

L'or peut être aplati en feuilles si minces, que 100,000 superposées ne font pas une épaisseur d'un centimètre, et avec un gramme d'or on peut faire un fil de plusieurs lieues de longueur.

58 milligrammes d'or peuvent être divisés en deux millions de parties visibles à l'œil. Un fil d'argent doré du poids de 3 décagrammes donne un fil délié comme un cheveu dont tous les points de la surface sont recouverts d'or, et qui peut avoir une étendue de 440,000 mètres. Ce fil, aplati et divisé en huit parties pour chaque millimètre, donne jusqu'à 8 millions de parties visibles.

Quand on essaye de l'or ou de l'argent sur

la pierre de touche, la trace très-légère que laissent les métaux peut être aperçue, bien qu'elle soit tout à fait insensible au toucher. Le poli que prennent les corps est encore un fait de divisibilité; les surfaces si unies sont cependant rugueuses et rayées, mais aucun de nos sens, ni œil ni main, ne peut apercevoir ces rugosités.

58 milligrammes de cuivre rouge dissous dans de l'ammoniaque et mêlé à 1 million 513,706 milligrammes d'eau, la teint en bleu; or, comme il y a 216 millions de parties visibles dans la 77^e partie d'un litre et demi que pesait l'eau, les 58 milligrammes de cuivre se trouvent divisés en 16 milliards de petites parties visibles.

Globules du sang. — Mais ce n'est pas seulement dans les solides qu'on peut voir jusqu'où va la divisibilité de la matière. Les êtres vivants en offrent de curieux exemples. Le sang, par exemple, contient des globules qui n'ont qu'un trois cent cinquantième de millimètre, de sorte qu'une goutte de sang suspendue à la pointe d'une aiguille contient un million de globules.

Animaux microscopiques. — Il existe d'ailleurs des animaux encore plus petits que ces globules et qui existent, se multiplient avec une énorme fécondité, se remuent avec une agilité que l'on retrouve dans tous les êtres et dans tous les corps infiniment petits. Les uns ressemblent en tas à des grains de poussière, d'autres sont invisibles à l'œil. Certains végétaux parasites que l'on rencontre dans la maladie de la vigne, dont ils sont

la cause, dans la teigne, dans la plique polonaise, ont également des dimensions qui se chiffrent par des centièmes de millimètres. Et tous ces êtres vivent, poursuivent un but et montrent une certaine intelligence lorsque ce sont des animaux, ou résistent à des températures de plus de cent degrés et aux acides les plus énergiques lorsque ce sont des végétaux. Ils sont souvent charriés pendant très-longtemps par les gaz et les liquides sans qu'il soit facile de les en chasser. Quelle doit être la petitesse de toutes les parties qui les composent!

Mais ces infiniment petits ne sont rien encore si l'on songe à la matière ou à l'éther qui vibre et qui produit ce que nous appelons la lumière, l'électricité. Pour en donner une idée, qu'il nous suffise de dire que la vitesse des mouvements qu'exécute cet éther varie dans la lumière et l'électricité de 80,000 à 115,000 lieues par seconde, et que des milliards de milliards de rayons lumineux peuvent passer sans se troubler par le trou d'une aiguille. Quelle doit être la petitesse de la matière qui peut prendre une telle vitesse de vibration, et combien les gaz eux-mêmes sont loin de cette ténuité! Et cependant 1,000 parties d'un gaz n'égalent pas un grain de sable, et les odeurs les plus divisées sont souvent les plus sensibles pour nous.

Odeurs, odorat. — Qu'est-ce donc que ces odeurs dont nous ne pouvons voir les agents? Cesont des sensations produites sur un de nos organes par les particules extrêmement divisées, qui s'échappent dans l'atmosphère

comme des vapeurs et qui proviennent des corps odorants. Parmi les corps qui se résolvent en vapeurs ou même parmi les gaz stables, il en est beaucoup qui ne sont pas odorants ; les plus volatiles sont même souvent inodores. Mais presque toujours les odeurs les plus fortes sont produites par des quantités extrêmement petites de matière. Le musc, par exemple, parfume pendant des années l'air d'une chambre, où il y a des courants d'air, et sans diminuer notablement de poids. L'odeur de la cannelle se fait sentir en mer à plus de dix lieues de l'île de Ceylan (Indes) où on la récolte.

Beaucoup de corps s'opposent au passage des odeurs, et il faut que les particules odorantes soient en contact avec notre organe sensuel pour que nous les sentions, en un mot qu'elles nous touchent. Tandis que par l'ouïe et la vue nous entendons et nous voyons les objets, sans qu'ils soient en contact avec nos sens, ils nous impressionnent à distance.

Afin que le sens de l'odorat soit en communication constante avec l'air qui porte toujours les odeurs, les fosses nasales où siège ce sens sont placées, chez tous les animaux, près des voies respiratoires, par lesquelles l'air entre dans les poumons. Elles sont séparées par deux cloisons cartilagineuses portant chacune trois lames saillantes et recourbées. Une membrane muqueuse, appelée *pituitaire*, tapisse l'intérieur des fosses, et le moindre gonflement de cette membrane arrête le passage de l'air dans les

cavités où s'épanouit le nerf olfactif, c'est-à-dire le nerf de l'odorat.

Une foule de petites saillies donnent à cette membrane un aspect velouté, et elle possède des cils vibratiles très-déliés. Un liquide plus ou moins visqueux, le *mucus* nasal, la baigne continuellement, et elle reçoit les filets du nerf olfactif qui porte au cerveau les impressions causées par les odeurs. C'est à la partie supérieure du nez que le sentiment odorant est le plus vif, et chez beaucoup d'animaux la membrane pituitaire, beaucoup plus développée que chez l'homme, leur donne un odorat beaucoup plus *fin*.

Les particules odorantes se dissolvent dans le mucus nasal, puis elles sont perçues et senties par la membrane et le nerf ; aussi, lorsque dans le rhume, ce liquide change de nature, nous devenons insensibles aux odeurs et inaptes à les percevoir.

Ether, atomes, molécules. — Mais puisque j'ai divisé les corps, je puis aussi les agglomérer et les recomposer, et prendre d'abord les plus petites parcelles, que j'appellerai *ether* et en former un petit tout que j'appellerai *atome* ; puis réunir ces atomes et ne former des molécules qui commencent à être visibles pour nous ; puis de ces molécules agglomérées faire de nouveaux corps, des *particules* que notre sens du toucher peut sentir, et qui, adhérentes ensemble, formeront les nombreux corps que nous voyons : bois, pierre, cuivre, etc. ; ces corps différeront entre eux, parce que le nombre de leurs

atomes et de leurs molécules n'est pas le même, que ces atomes sont différemment groupés et plus ou moins serrés les uns contre les autres, et par suite ont des formes variées. Cette dernière qualité est ce que l'on nomme la *densité* des corps; c'est-à-dire que si l'on prend un dé de bois et un dé en fer de mêmes dimensions, le premier sera cependant plus léger que le second, parce que sous un même volume il contiendra moins de matière et que ces molécules seront moins tassées, moins serrées les unes contre les autres; le fer sera plus dense alors que le bois, l'eau plus dense que l'air.

Nous avons dit que l'on pouvait diviser indéfiniment les corps; mais les chimistes ne sont pas tous de cet avis, et ils arrêtent la divisibilité de la matière, aux atomes, petites parties indivisibles, et cependant différentes entre elles. Nous verrons, en chimie, pourquoi on a adopté cette hypothèse, qui sert à expliquer certains faits; mais si ces faits peuvent s'expliquer sans avoir recours à cette supposition, qui est en désaccord avec d'autres faits, et surtout avec les données de la raison, cette hypothèse d'une limite à la divisibilité devra être abandonnée.

Corps simples et composés. — Dans ce que nous avons dit, nous avons aussi considéré les corps comme composés d'une seule matière; et nous avons pu penser que le fer et le cuivre ne différaient que parce que leurs atomes étaient réunis en plus ou moins grand nombre, en particules plus ou moins compactes; nous verrons en chimie ce qu'il

faut penser à ce sujet. Contentons-nous d'ajouter qu'aujourd'hui les corps comme le cuivre, le fer, le soufre, le phosphore, les métaux sont considérés comme des corps simples qu'on ne peut, par les moyens actuellement connus, séparer en d'autres corps, tandis que le bois, l'eau, le laiton, le bronze, les pierres, sont des corps composés, dont on connaît la composition, et que l'on peut même reproduire à volonté, en mêlant les substances qui les composent, tandis qu'on n'a pas trouvé de corps qui, mêlés à d'autres ou modifiés d'une manière quelconque, pussent donner du fer, du soufre, du plomb, etc. Ces derniers sont appelés des corps simples; tous les autres sont des corps *composés*.

COMPOSITION DES CORPS, COHÉSION.

Mais pour former des corps avec des parcelles très-petites de matière, comme nous l'avons vu, il ne suffit pas de poser ces particules les unes à côté des autres : les grains de sable, par exemple, n'ont aucune adhérence entre eux; lors même qu'ils se touchent par un certain nombre de points, ils ne forment pas encore une masse tenace et adhérente; tandis que légèrement mouillés avec un peu d'eau, le liquide semble les relier les uns aux autres, les presser les uns contre les autres et en former un tout assez tenace. On ne sait pas encore bien ce qui se passe dans ces phénomènes d'agrégation des corps; on a dit qu'il y avait attraction entre les molécules, qu'il y avait une force cohésive, etc.; c'était

mettre des mots et des noms à la place de véritables explications, et en physique, il ne faut jamais se contenter de mots vides de sens. Nous verrons plus loin ce qu'il en faut penser, toutefois nous devons mentionner plusieurs faits qui nous serviront à éclaircir la question.

Lorsque deux plaques rondes de verre bien aplanies, de 4 à 5 centimètres de diamètre sur 12 ou 15 centimètres de circonférence, sont chauffées à la température de l'eau bouillante, puis mises en contact l'une avec l'autre avec un peu de suif fondu entre elles, pour que l'adhérence soit complète, il faut pour les séparer des poids ou une force égale à 65 kilogrammes ; — des morceaux de plomb de même grandeur exigeraient 135 kilogrammes, et des disques de fer poli seraient encore plus adhérents, et il faudrait pendre 150 kilogrammes à l'une des plaques pour la séparer de l'autre.

Nous verrons plus loin que lorsqu'on ôte l'air qui sépare deux surfaces on obtient des adhérences non moins fortes ; que le magnétisme produit des effets du même genre et nous verrons quel en peut être la cause.

Ténacité. — Toutefois, les particules des solides ont bien plus d'adhérence entre elles que celles des liquides, et encore plus que les gaz, où ces particules ont une extrême mobilité et semblent, en quelque sorte, se repousser réciproquement.

On peut mesurer la ténacité des solides en comparant les poids qu'ils peuvent supporter sans se rompre.

Ainsi des fils de 2 millimètres des métaux suivants ont pu supporter :

Le fer.....	250	kilogrammes.
Le cuivre....	137	—
Le platine...	125	—
L'argent.....	85	—
L'or.....	68	—
Le zinc.....	50	—
L'étain	16	—
Le plomb....	12	—

Lors donc que nous aurons besoin d'un corps ou d'un fil très fin qui ait une grande résistance, nous choisirons les métaux placés en tête de ce tableau. Mais il faut se rappeler que la chaleur fait varier beaucoup cette ténacité; la pureté du métal a également une grande influence; mélangés ensemble, les métaux sont généralement plus tenaces que lorsqu'ils sont isolés; un composé de cinq sixièmes d'or et d'un sixième de cuivre a une ténacité plus que double de celle de l'or ou du cuivre isolés. Le laiton, composé de cuivre et de zinc a une ténacité double du cuivre, et près de 5 fois plus grande que celle du zinc, etc.

Le métal forgé augmente aussi de ténacité dans la direction de sa longueur; les molécules sont plus pressées, plus serrées les unes contre les autres, il y a moins de vides entre elles. Le cuivre, le fer forgés ont leur ténacité plus que doublée: celle de l'or, de l'argent est plus que triplée. Toute pression augmente donc l'adhérence des molécules en-

tre elles, pourvu qu'elle ne dépasse pas une certaine limite, au delà de laquelle les corps seraient non plus agrégés fortement, mais divisés, broyés ou hachés.

La ténacité du bois est beaucoup plus grande dans le sens de la longueur de ses fibres que dans la direction transverse ; aussi se rompt-il plus facilement lorsqu'on suspend un poids lourd au milieu de sa longueur, tandis qu'il résiste et supporte aisément le poids qu'on attache à son extrémité ; c'est que ses parties sont unies par une substance, un tissu qui n'a qu'une faible puissance de cohésion, tandis que ses fibres (dont on fait souvent des fils) sont assez résistantes. La ténacité dans les deux sens varie d'un dixième à un soixante-dixième.

Adhérence des solides aux liquides. — Nous avons vu que les liquides ont très-peu de ténacité et que, leurs molécules sont peu adhérentes, et que, même à l'état pâteux ou visqueux, elles offrent peu de résistance à la traction ; il est juste de dire cependant qu'il y a souvent entre les solides et les liquides une adhérence assez forte. Aussi a-t-on souvent profité de ce fait dans l'industrie pour faire monter l'eau à l'aide de poulies et de courroies sans fin plongées dans l'eau ; en tournant elles soulevaient l'eau qui s'attachait à elles. Mais comme l'humidité détériorait facilement les cordes et qu'il y avait des frottements considérables à vaincre, le travail utile de machines de ce genre était en réalité peu considérable. On peut constater, du reste, l'adhérence des solides et des liqui-

des en suspendant sous le plateau gauche d'une balance un vase de verre qui touche par sa base inférieure la surface d'un liquide. Il se manifeste entre ces deux corps, le liquide et le solide, une adhérence assez forte qui permet de charger le plateau droit d'un assez grand nombre de poids, sans que le plateau gauche s'élève et se sépare du liquide. Celui-ci le retient, en effet, par le moyen du verre attaché par son sommet au plateau, et qui adhère à la surface de l'eau.

LES CORPS SONT POREUX

Métaux poreux. — Toutefois les molécules de tous les corps ne se touchent jamais complètement, et elles laissent toujours entre elles des vides qu'on a appelés *pores*. L'expérience de tous les jours nous apprend, en effet, que tous les tissus, quelque serrés qu'ils soient, laissent entre eux des espaces plus ou moins grands, à travers lesquels peuvent passer la lumière, la poussière, l'eau divisée; nous nous servons continuellement de corps qui, comme l'éponge, ont des vides bien évidents, remplis d'air, et où ils laissent pénétrer l'huile, l'eau, le gravier, et qu'il suffit de comprimer pour en faire sortir les matières qui remplissent leurs cavités; voilà ce que nous voyons. Mais ce que nous ne voyons pas journellement, et ce qui est pourtant aussi exact, c'est que les métaux les plus durs et les plus solides, qui semblent le moins se rapprocher de la nature des éponges, l'or, par exemple, sont également poreux, et

qu'une boule d'or, renfermant de l'eau et soumise à une forte pression, laissera suinter des gouttelettes nombreuses. On a de même constaté que, à une haute température, le platine était perméable pour certains gaz.

Du reste, les corps qui ont une structure irrégulière ou un arrangement confus de leurs molécules sont bien plus poreux que les corps cristallisés ; et cela est vraiment heureux, sans quoi nous ne pourrions conserver aucun liquide dans nos vases ; ainsi le verre est très-peu poreux ; il faut ajouter que tous les corps n'ont pas la même facilité à s'insinuer dans les pores ; l'eau, l'alcool, l'éther, l'huile, le mercure, le soufre fondu, l'air, les gaz présentent sous ce rapport de grandes différences, qui permettent de les emprisonner dans certains vases convenables sans qu'ils pénètrent leurs parois. Le bois est au contraire très-poreux, aussi éprouve-t-il des variations de volume, dans les temps secs ou humides dues à la présence des liquides dans ses pores, dès qu'il reste à l'air, il gonfle, c'est-à-dire qu'il absorbe l'humidité ou la vapeur d'eau contenue dans l'air ; pour y remédier, il faut appliquer à sa surface des vernis et des peintures.

Pierres poreuses. — Les pierres qui sont au fond de la mer sont peu poreuses ; et cependant lorsqu'on les en retire elles sont très-humides jusque dans leur intérieur, parce qu'elles ont supporté longtemps une grande pression, et que le temps et la pression sont nécessaires pour rendre évidents la

porosité des corps peu poreux, comme les métaux, le marbre, etc.

Chaque jour, nous constatons des effets de la porosité ; de la craie plongée dans de l'eau est mouillée jusqu'au centre ; un monceau de sable posé sur un terrain humide devient humide de la base au sommet, parce que l'eau est montée par les interstices ou vides laissés entre les grains. On conserve souvent du feu en le couvrant de cendres, mais à la condition que l'air puisse pénétrer dans les vides entre les particules de cendres pour entretenir la combustion ; car si on empêche cette arrivée de l'air, en humectant les cendres avec de l'eau, celles-ci s'agglomèrent et la combustion s'arrête.

Respiration par la peau. — Les peaux de de tous les animaux sont également poreuses et c'est par ces pores que nous transpirons et que la sueur s'échappe ; c'est là une des fonctions essentielles de la vie, et lorsque ces pores sont bouchés et que cette transpiration ne peut plus se faire ; le corps s'en ressent comme si la respiration même était arrêtée. Des chiens, des chats qu'on avait habillés avec des étoffes imperméables en caoutchouc, ou avec des enduits visqueux de gomme et de gélatine, toutes substances cependant inoffensives, moururent en quelques heures parce qu'ils ne pouvaient plus respirer par les pores de leur peau recouverte d'une sorte de coque imperméable.

On comprend dès lors l'utilité des bains, des lotions et de tous les soins de propreté qui, en débouchant les pores, en enle-

vant la poussière qui les obstrue, favorisent la respiration cutanée. Des maladies sont souvent causées par la négligence que l'on a sous ce rapport. Lorsqu'on songe qu'un centimètre de peau contient plus de 4,000 de ces petites ouvertures, et un centimètre carré 46 millions ; quand on se rappelle que la peau de l'homme, qui a une étendue évaluée à 1 mètre carré 50 ou 1 mètre carré 75, compte par conséquent de 2 à 3 milliards de ces pores, on comprend combien il est important de favoriser des fonctions dont la diminution amène la diminution de la chaleur vitale.

Les vêtements en caoutchouc sont donc d'un mauvais usage en hiver ; leur imperméabilité nuit aux fonctions respiratoires de la peau, et ils constituent un puissant moyen de refroidissement, car ils ne concentrent pas la chaleur ; mais, en diminuant l'activité de la respiration cutanée (du cuir ou de la peau), ils empêchent la chaleur du corps de se produire.

Conservation des œufs. — La porosité offre du reste un moyen de conserver les œufs frais. Les coquilles des œufs, étant très-poreuses, laissent ordinairement passer l'air qui concourt à putréfier ou à gâter le jaune et le blanc de l'œuf. Il suffit alors de boucher les pores des œufs avec des enduits de gomme ou de chaux, pour conserver frais, pendant des années, et très-bons, des œufs qui, sans cela, se seraient vite gâtés.

Filtres. — Beaucoup de solides, enfin, absorbent dans leurs pores des gaz ; le charbon

par exemple absorbe très-facilement les gaz méphitiques contenus dans les eaux, aussi s'en sert-on pour désinfecter les eaux, qui, en passant à travers un lit de charbon de *buis*, abandonnent dans les pores du charbon leurs gaz délétères et d'autres substances étrangères qu'elles contiennent quelquefois; elles en sortent alors bonnes à boire. Les filtres de grès sont une autre application de la même propriété; les pores du grès sont assez grands pour laisser passer l'eau, mais ne le sont pas assez pour laisser passer la poussière ou le gravier qu'elle contient et qui se dépose dans les cavités du grès.

Boissons — Les liquides, comme on le voit ont aussi des pores, puisqu'ils peuvent dissoudre, c'est-à-dire laisser déposer dans leurs interstices des gaz et quelques substances solides. Il est certains gaz qui se dissolvent très-facilement, comme le gaz ammoniac ou le gaz sulfurique. Nous reviendrons sur ces faits en chimie; nous pouvons dire, du reste, que l'eau contient toujours de l'air dissous dans sa masse, et qu'elle n'est même bonne à boire que lorsqu'elle en contient; l'eau bouillie ou distillée, qui est privée de son air, est une mauvaise boisson, à laquelle il faut avoir soin de rendre l'air qu'elle doit contenir en la faisant tomber d'un peu haut en mince filet ou en gouttelettes fines avant de s'en servir.

L'air et les autres gaz sont également remplis d'interstices qui expliquent leur extrême mobilité. Sans cela, il ne serait pas possible d'y vivre, de s'y mouvoir rapidement, et les vapeurs ne pourraient s'y élever.

Mais c'est surtout la facilité qu'on éprouve à comprimer les gaz et les vapeurs qui montre combien ils sont poreux.

COMPRESSIBILITÉ.

Plus un corps contient de pores, plus il est compressible; l'effort seul de la main réduit une éponge à un sixième de son premier volume, tandis que de l'eau comprimée dans une pièce de canon de 8 cent. d'épaisseur fait éclater celle-ci avant d'être réduite aux $\frac{19}{20}$ de son volume, c'est-à-dire avant d'être réduite de $\frac{1}{20}$. Or, il faut une pression égale à 2,000 fois la pression de l'atmosphère pour faire éclater ce canon; qu'on juge par là de la résistance de l'eau. En général, les liquides sont tous très-peu compressibles, tandis que les gaz semblent réaliser cette fable arabe, d'un peu de fumée, qui, enfermée dans une boîte, pouvait, lorsque la boîte était ouverte, se répandre dans tout un pays et le couvrir, mais il y a cependant une limite à la compressibilité des gaz; sans cela on pourrait arriver à comprimer tout l'air qui entoure la terre, dans un très-petit espace.

L'eau pour chaque atmosphère se comprime d'environ 50 fois la millionième partie de son volume; elle est donc compressible, mais combien peu, si on la compare aux gaz.

C'est que la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène qui forment l'eau est déjà le résultat d'une pression très-grande opérée par les molécules de l'un et de l'autre gaz les

unes sur les autres ; par suite, un rapprochement très-grand s'est opéré entre elles, et il est difficile d'en opérer un autre de nouveau. Aussi 1 million de litres d'eau soumis à une pression de 1, 2, 3 atmosphères diminuerait seulement de 50 ou 48 litres, ou deux fois 48, ou trois fois 48 litres, selon le nombre d'atmosphères.

Les gaz, au contraire, se compriment suivant une proportion croissante ; ainsi, un gaz qui, soumis à la pression de 1 kilog., aurait un volume égal à 1 litre, n'aurait plus qu'un volume de $1/2$ litre pour une pression de 2 kilog., de $1/3$ de litre pour une pression de 3 kilog., autrement dit, le volume diminue lorsque la pression croît ; la densité, par suite, croît avec la pression, qui accumule plus de matière sous un même volume ; par suite, la force élastique du gaz qui tend à réagir contre la pression croît également avec celle-ci et avec la densité.

Machines de compression. — Les eaux gazeuses artificielles de Seltz et beaucoup de vins mousseux, débités sous le nom de vins de Champagne, reçoivent l'acide carbonique qui les rend gazeux et mousseux au moyen d'une pompe de compression qui force le gaz à se dissoudre dans le liquide avec lequel on le comprime.

Les soufflets d'appartement ne sont que des machines à compression, qui compriment plus ou moins l'air.

Mais les machines qui servent à la compression des gaz dans l'industrie ou qui se servent de cette compression pour produire

un travail moteur, reçoivent des dispositions particulières. Elles comprennent ordinairement un piston parcourant l'intérieur d'un cylindre de métal, et pressant sous son poids l'air introduit dans la capacité du cylindre. Il importe que les parois du cylindre soient très-résistantes, car elles doivent supporter des pressions considérables.

Pour exprimer la quantité dont un gaz est comprimé, on dit qu'il est comprimé à 10, 15, 30 atmosphères, c'est-à-dire qu'on a comprimé de ce gaz un volume 10, 15, 30 fois plus grand que celui que contient ordinairement le cylindre sous la pression habituelle de l'atmosphère.

Gazomètres. — Il est souvent nécessaire de faire écouler constamment le gaz d'un endroit qui le contient; on y parvient par l'écoulement constant d'un liquide dans les vases où il chasse et remplace une même quantité de gaz dans un temps toujours égal. Cependant dans l'emploi du gaz de l'éclairage (hydrogène carboné, ou hydrogène combiné avec le charbon), afin que l'écoulement du gaz soit continu on a besoin d'une pression constante. Aussi les gazomètres, sortes de grandes cuves en tôle épaisse qu'on remplit de gaz hydrogène, plongent-ils dans des bassins remplis d'eau, de manière que le gaz soit en contact avec la surface de l'eau.

Le gaz qui provient de la distillation de la houille est amené par des tuyaux de conduite dans la cloche; il la remplit et par sa légèreté la soulève, jusqu'à ce qu'elle ne plonge

plus que de quelques pouces dans l'eau, alors on arrête l'arrivée du gaz et on ouvre les conduits de distribution qui sont adaptés à la cuve d'hydrogène carboné.

Le gaz s'y précipite, parce que de toutes parts il est pressé par l'eau de la cloche qui l'entoure et il se répand dans les conduits souterrains et va porter la lumière dans les rucs et les maisons. Des contre-poids règlent du reste la pression et par suite l'écoulement du gaz.

Fusil à vent. — Le fusil à vent est fondé sur la compression de l'air. La crosse du fusil est en métal et creuse; elle porte à son extrémité une soupape qui s'ouvre du dehors au dedans. On visse une pompe foulante sur cette extrémité et l'on comprime l'air dans la crosse avec une force de 15 atmosphères. On remplace, ensuite, quand la crosse est chargée, la pompe par le canon du fusil, où l'on introduit la balle et les deux bourres. Après avoir ajusté, on tire un ressort placé sur le canon et qui ouvre la soupape; l'air sort alors avec une grande force et la balle est projetée au loin. On n'entend qu'un bruit faible et on ne voit qu'une lumière pâle produite par le frottement de l'air et des solides. On peut ainsi tirer plusieurs coups sans recharger la culasse, parce qu'à chaque coup, il ne sort qu'une petite quantité d'air.

Manomètres — Pour mesurer la pression des gaz comprimés, on se sert des manomètres et des soupapes de sûreté. Les premiers sont des tubes deux fois recourbés, fermés d'un côté, ouverts de l'autre, et contenant du

côté fermé, de l'air d'abord, puis, au-dessous, du mercure qui peut monter dans les deux branches, et qui est au même niveau dans l'une et dans l'autre sous la pression atmosphérique. On fait communiquer la branche ouverte avec le gaz dont on veut connaître la force élastique, par exemple, avec la vapeur d'eau des chaudières des machines à vapeur. Cette vapeur ayant une force supérieure à celle de l'air renfermé dans le côté bouché du tube, force le mercure à monter dans cette branche ; la différence qui existe entre le niveau qu'atteint alors le mercure et celui qu'il conserve sous la pression ordinaire indique le nombre d'atmosphères ou de 1 kil. 033 dont est composé l'excès de force élastique de la vapeur d'eau. Une échelle graduée placée à côté du manomètre donne ces indications.

On ferme quelquefois la deuxième branche du manomètre, mais les variations de température rendent souvent inexact ce genre d'instruments.

Les soupapes de sûreté sont des espèces de bouchons métalliques qui s'ouvrent lorsque les gaz des machines auxquelles on les adapte ont une force élastique qui dépasse le poids qu'on fait supporter aux soupapes.

Il suffit de diviser par l'étendue de leur surface qui est pressée par le gaz,—par exemple 20 centimètres carrés,—la force ou le poids soulevé par le gaz, 560 kilogrammes par exemple, et l'on aura, par centimètre carré, le poids de la pression en kilogrammes :

$$\frac{560}{20} = 28 \text{ kilogrammes}$$

ou à peu près 27 atmosphères.

Compression des solides. — Mais l'industrie tire un grand parti de la compressibilité des solides; c'est en comprimant fortement la bouillie décolorée et formée de vieux chiffons, de débris de papiers ramassés par les chiffonniers, qu'on obtient les feuilles de papier plus ou moins fines selon la nature de la pâte. On fait également avec des pâtes de papier mâché, ou de carton-pâte, etc, des sculptures, des figures, des ornements, en comprimant fortement ces substances dans des moules de différentes formes, qui représentent divers objets. On se sert aussi de sciure de bois (et surtout de sciure de bois de palissandre, parce qu'elle contient une résine que l'on fait fondre avec un peu de sang liquide) pour obtenir une pâte que l'on comprime très-fortement à 175 degrés de chaleur et qui donne un corps qu'on peut tailler et découper après l'avoir fait sécher.

Le caoutchouc peut être également moulé de la même manière.

Il importe, dans les édifices, de tenir grand compte de la pression que supportent les pierres placées à la base des constructions: si on ne les choisit pas de manière qu'elles soient douées d'une assez grande résistance, on les voit faiblir sous l'énorme poids qui les presse.

La pression, le martelage ou l'écrouissage rendent également les métaux plus com-

pactes, et c'est ainsi qu'on peut, en frappant fortement et subitement les monnaies et les médailles de bronze, à l'aide d'un poids énorme appelé balancier, les façonner comme de la cire, et imprimer sur leurs faces les dessins, lettres, figures, emblèmes qu'on veut y représenter. Par suite de la compression que subissent ainsi les pièces, elles ont toujours un moindre volume qu'avant d'avoir été frappées.

Écoulement des solides. — Enfin dans ces derniers temps, en comprimant très-fortement de la glace, du plomb, des pâtes céramiques pour faire la porcelaine, on est parvenu à faire écouler ces solides sans l'intervention ordinaire des foyers calorifiques, sans les fondre et sans les faire changer d'état. On a pu obtenir des jets qui s'étiraient à la filière; on a même trouvé que la glace s'étirait beaucoup plus facilement que le plomb; celui-ci avait besoin de supporter une pression de 50,000 kilogrammes, tandis que la pression sur la glace s'est bornée à 10,000 kilogrammes, soit 126 kilogrammes par centimètre carré.

ÉLASTICITÉ.

Lorsque nous comprimons les corps, que nous changeons leur forme ou leur volume, nous les voyons revenir à leur état primitif, lorsque la compression cesse. L'arc tendu se détend lorsque la main laisse échapper la corde; le fil tordu, laissé à lui-même, se détend, et la lanière de caoutchouc reprend

après la tension sa forme première. Cependant cette élasticité a des limites, pour les solides surtout.

Mais lorsque les molécules ont été ainsi dérangées de leur place et de leur position d'équilibre, elles y reviennent avec des vitesses qui produisent des effets souvent considérables. Ainsi, c'est la vitesse avec laquelle les extrémités de l'arc reviennent à leur première position qui donne une grande rapidité à la flèche. Des billes d'ivoire lancées avec force contre du marbre rejaillissent à une grande hauteur, et les gouttes liquides, surtout de mercure, tombant sur une table, rebondissent comme de petites balles.

Cette propriété de la matière est appelée *élasticité*.

Martelage. — Trempe. — Etirage. — Mais les solides ne sont élastiques que jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle leurs molécules ne reprennent pas la force primitive. Cette limite varie beaucoup selon les corps, selon leur état et selon leur forme. Une lame de plomb est moins élastique qu'une lame de verre et celle-ci l'est moins, si elle est épaisse, que des filets déliés de verre.

On augmente cette élasticité des métaux en les passant à la filière, au laminoir, ou en les frappant au marteau pour les écrouir, c'est-à-dire en rapprochant leurs molécules les unes des autres. La trempe, c'est-à-dire l'immersion et le refroidissement subit dans l'eau froide, dans l'huile, le suif ou d'autres liquides, d'un corps porté à une haute température, accroît aussi l'élasticité. L'acier,

par exemple, si peu élastique qu'il plie et conserve la forme qu'on veut lui donner, devient par la trempe non-seulement plus dur, plus cassant, mais encore l'un des corps des plus élastiques.

On peut détruire cette élasticité par le recuit, en rechauffant l'acier et le laissant refroidir lentement.

D'autres métaux et quelques alliages sont, au contraire, rendus ductiles et malléables par la trempe, et il faut un refroidissement lent pour leur donner dureté et élasticité. C'est en particulier le cas de l'alliage des cymbales et des tam-tams (4 parties de cuivre et une d'étain).

Ductilité. — Malléabilité. — Un corps est donc *ductile* lorsqu'il peut sans se rompre être étiré en fils déliés. On se sert pour cela de la filière, qui est une plaque d'acier percée de trous de plus en plus grands; on fait passer les métaux successivement dans tous ces trous, et on obtient ainsi des fils de fer, de laiton, et même d'argent doré, avec lesquels on fait les galons et les étoffes de soie.

Un corps est malléable lorsqu'il peut facilement être réduit en lames minces, soit par l'écrouissage, soit par la compression entre deux cylindres de matières dures, entre lesquels il passe et d'où il sort en feuilles minces. Le laminoir est fréquemment employé dans l'industrie.

Les métaux les plus employés sont les uns plus, les autres moins aptes à être étirés ou laminés. Voici l'ordre de leur plus grande aptitude à être

PHYSIQUE. — 1.

2.

Étirés.		Laminés.		Martelés.	
	I./M		E./M		E./L
1 Platine	(5-5)	1 Or	(4-3)	1 Plomb	(6-4)
2 Fer	(6-6)	2 Cuivre	(3-4)	2 Etain	(5-3)
3 Cuivre	(2-4)	3 Etain	(5-2)	3 Or	(4-1)
4 Or	(1-3)	4 Plomb	(6-1)	4 Cuivre	(3-2)
5 Etain	(3-2)	5 Platine	(4-3)	5 Platine	(1-5)
6 Plomb	(4-1)	6 Fer	(2-6)	6 Fer	(2-6)

Du reste, la température surtout fait beaucoup varier la ductilité et la malléabilité. Le verre, très-fragile à la température ordinaire, se laisse étirer en fils très-déliés à une température élevée, et s'il est convenablement chauffé dans toutes ses parties, il devient malléable au point de se courber, de se souffler en bouteilles et de prendre toutes les formes. Il en est de même des cires et des résines, du zinc, du fer et d'autres métaux que la chaleur ramollit et rend malléables.

Choc des corps élastiques. — Lorsqu'une bille élastique tombe sur le marbre, elle se comprime, ainsi qu'on peut s'en convaincre, si l'on a humecté le marbre d'eau ou d'huile; on aperçoit alors une place assez large où le liquide a été enlevé par la balle qui s'est aplatie, puis a rejaili à une certaine hauteur. Si son élasticité et celle du marbre étaient parfaites, elle remonterait à la hauteur d'où elle est tombée; c'est ce qui arrive pour les balles en caoutchouc fortement lancées, c'est-à-dire ayant une grande vitesse. La bille ou la balle reprend donc, après le choc, par son élasticité, une vitesse égale, mais en sens contraire de celle qu'elle avait auparavant; car la réaction est égale à

l'action, mais contraire à la direction de celle-ci.

Lorsque le choc est oblique, les billes élastiques ne reprennent plus leurs directions primitives, mais elles se meuvent par une direction oblique; et l'obliquité de ce mouvement de retour est égale ou forme un angle égal à celui de leur premier mouvement. On appelle angle d'*incidence*, l'angle fait par la direction oblique de la bille avec la surface qu'elle frappe et la verticale à cette surface; et angle de *réflexion*, l'angle fait par le mouvement oblique que suit la bille qui rebondit, et l'on dit que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, c'est-à-dire que l'obliquité des deux mouvements avant et après le choc, est égale quoique en sens contraire, comme les deux jambages d'un V.

Mais lorsque je lance une balle peu élastique avec une certaine force, et qu'elle rencontre une autre balle également peu élastique, les deux balles se compriment mutuellement. Leurs vitesses, si elles sont égales, et si les masses des balles le sont aussi, s'annulent, et celles-ci restent en repos, ou tombent sur la terre sans continuer leur mouvement; mais si la vitesse de l'une est plus grande, elle communique à l'autre une partie de son mouvement et l'entraîne dans son sens. Si un boulet de 48 en rencontre un de 24 lancé en sens opposé avec une vitesse égale, le boulet de 48 entraînera avec lui le boulet de 24, parce que sa masse est double; mais si le boulet de 24 avait une vitesse double de

celle du boulet de 48, les deux boulets s'arrêteraient l'un l'autre, sans s'entraîner réciproquement.

ATMOSPHERE.

Le globe est entouré par une masse gazeuse, l'atmosphère, composée d'oxygène et d'azote, deux gaz mêlés dans les proportions de 1 cinquième d'oxygène et 4 cinquièmes d'azote. L'atmosphère s'élève jusqu'à environ 14 ou 15 lieues de hauteur, et suit le globe dans tous les mouvements qu'il exécute. Sa température varie d'environ 57° sous zéro ou au-dessous de la température de la glace, à 54° au-dessus de zéro; mais elle décroît avec la hauteur, et paraît être invariable, et au-dessous de zéro, à 12 ou 14,000 mille mètres d'élévation.

On conçoit qu'une si grande masse doit peser d'une façon notable sur la surface du globe. En effet, celle-ci supporte une pression d'environ 1 kil. 033 par centimètre carré, et comme elle compte une superficie de 5,098,587 myriamètres carrés, soit de 5 quintillions, 098 de centimètres carrés, la pression de l'air sur tout le globe de la terre égale à peu près 5 quintillions et demi de kilogrammes (5,000,000,000,000,000,000).

Pression de l'air. — Il faut se rappeler que l'homme porte constamment sur lui un poids de 17,500 kilogrammes, et qu'il ne résiste à cette énorme charge que parce que les forces intérieures que la vie développe dans le corps humain, font équilibre à cette

pression, et repoussent pour ainsi dire ce fardeau. Lorsque ces forces diminuent par maladie ou par l'âge, nous nous courbons sous sa pression, tandis que sur les montagnes où la pression diminue, nous avons une nouvelle force et une nouvelle puissance.

Cette pression de l'atmosphère s'exerce non-seulement sur l'homme, mais sur tous les corps liquides, solides et gazeux ; il importe dans tous les phénomènes de se rappeler qu'elle existe, et que si parfois d'autres forces comme la chaleur lui font équilibre, dès que celles-ci cessent d'agir, elle reprend tout son empire puissant quoique inaperçu.

Ainsi, tous les liquides sont pressés par une colonne d'air égale à un poids de 1 kilogramme sur chaque centimètre carré ou 1 kilogramme 033 grammes.

Machine pneumatique. — Pour vider d'air un vase ou une cavité fermée quelconque, comme on les vide d'eau, il n'est pas possible de faire simplement couler l'air, non pas que l'air n'ait une tendance à s'échapper des vases qui le renferment, tendance qui lui est commune avec tous les gaz dont la nature expansive cherche sans cesse à se répandre au dehors ; mais la résistance des parois et la pression même de l'air qui le surmonte, l'empêchent de s'écouler ; il faut donc soustraire le vase à la pression atmosphérique, et attirer l'air au dehors, comme avec une pompe aspirante.

C'est ce qu'Otto de Guericke a réalisé en 1650, par l'invention de la machine pneumatique. Elle consiste en deux corps de pompe,

où des pistons à soupapes en montant et en descendant aspirent et font passer dans les corps de pompes l'air renfermé dans les vases à vider. On pose ceux-ci sur un plateau qui communique par un conduit à soupape avec chaque corps de pompe. Lorsqu'un des pistons monte, la soupape du conduit s'ouvre, l'air du vase se précipite par cette ouverture et pénètre dans le corps de pompe. Lorsque le piston redescend, il presse fortement cet air, ferme la première soupape du conduit, et force l'air à s'ouvrir un passage, c'est-à-dire à soulever la soupape même du piston, qui, comme la première, s'ouvre de bas en haut. L'air passe ainsi au-dessus du piston, et lorsque celui-ci remonte, il fait fermer sa propre soupape, en pressant de nouveau l'air qui le surmonte, et il le chasse au dehors.

Même avec les plus grandes précautions, on n'obtient jamais du reste un vide parfait; mais celui qu'on peut ainsi produire est très-suffisant.

Si, au lieu d'un vase à parois toutes solides, on employait une membrane tendue sur un vase, on verrait, à mesure que l'air intérieur serait retiré, la pression extérieure de l'atmosphère appuyer sur la membrane, la creuser et la faire éclater enfin avec un bruit égal à celui d'un coup de fusil.

Du reste, quand on parle du *vide*, on entend seulement parler de l'absence d'air et d'autres corps liquides ou gazeux. On admet au contraire que le vide est toujours rempli d'*éther*, cette matière si divisée, si mobile, si petite que nous avons déjà nommée, et il faut

bien l'admettre puisque la chaleur, la lumière, l'électricité se propagent dans le vide comme dans les corps, et qu'ils sont produits par les mouvements mêmes de cet éther.

Effets du vide. — Lorsqu'on a fait le vide dans un vase fermé, on remarque que la fumée, loin de s'y élever comme dans l'air et de conserver sa légèreté relative, tombe en espèce de flocon ou de brouillard, comme une masse pesante; la pression de la pesanteur s'exerce donc sur elle malgré le vide.

Comme l'air, et surtout l'oxygène qu'il renferme, sont indispensables à la combustion, les corps enflammés s'éteignent dans le vide, comme ils le font dans quelques gaz, l'hydrogène et l'azote.

Enfin, comme l'azote et l'oxygène de l'air sont indispensables à la respiration (qui n'est du reste qu'une combustion), les animaux périssent rapidement lorsqu'ils sont plongés dans un milieu privé d'air; la même cause arrête la fermentation des matières alimentaires, fruits, légumes, etc.; par conséquent, ces matières se conservent très-bien dans le vide. Mais il y a d'autres moyens plus simples de conserver les aliments, viandes et autres, que nous ferons connaître.

Un résultat remarquable produit par l'expulsion de l'air des capacités qui le renferment, c'est la forte adhérence que prennent entre elles les surfaces entre lesquelles le vide a été fait. Ainsi, deux demi-sphères de métal seulement juxtaposées, et entre lesquelles on fait le vide, ne peuvent plus être séparées que par des forces considérables.

Si par exemple on pose la main, de manière à le boucher, sur l'orifice d'un vase dans lequel on fait le vide, cette main adhère bientôt si fortement aux bords, qu'il est impossible de la retirer; la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface de la main est assez puissante pour produire une adhérence que la force de l'homme ne peut vaincre, et ce n'est qu'en faisant rentrer de l'air peu à peu sous la main dans le vase, qu'il devient possible de la soulever, pour contrebalancer la pression extérieure.

Il y a là un fait qu'il importe de se rappeler, fait d'adhérence produite par la pression et par le vide, c'est-à-dire par l'absence de tout intermédiaire entre deux corps en contact, qui pourra nous servir de guide en chimie.

Baromètre. — Lorsque l'on a rempli d'eau ou de mercure un tube fermé par un bout et qu'on le plonge dans une cuvette contenant également de l'eau ou du mercure, on voit que l'eau au lieu de descendre du tube dans la cuvette, comme elle le ferait si le tube était ouvert par le haut, reste au contraire à un niveau très-élevé au-dessus du niveau du liquide de la cuvette. C'est que l'air presse ici non pas la partie inférieure de la colonne d'eau du tube, mais bien la surface de l'eau dans la cuvette, et que cette pression, plus ou moins forte selon les circonstances atmosphériques, se transmet à la colonne d'eau du tuyau, pour la maintenir à son niveau supérieur.

Si, maintenant, au lieu d'un petit tuyau,

on prend un tube de 90 centimètres environ qu'on remplit de mercure, de manière à chasser complètement l'air de son intérieur, et si on le plonge dans un réservoir ou cuvette d'assez grande surface contenant également du mercure, on verra le phénomène ci-dessus se reproduire, avec une différence toutefois : c'est que la colonne de mercure du tube ne restera pas complètement dans le tube ; elle s'abaissera d'une certaine quantité, jusqu'à environ une hauteur de 76 centimètres au-dessus du niveau de la cuvette.

Pression atmosphérique.— Pourquoi ? parce que la pression atmosphérique exercée sur le mercure de la cuvette ne peut faire équilibre qu'à une colonne de mercure d'environ 76 centimètres ; la pression du mercure du tube sur celui de la cuvette égale donc la pression atmosphérique sur chaque centimètre carré du mercure de la cuvette. Pour évaluer en poids cette pression atmosphérique sur un centimètre carré, on la considère comme donnée par un cylindre de mercure ayant pour base un centimètre et pour hauteur 76 centimètres. Le volume de ce cylindre sera de 76 centimètres cubes, et un centimètre cube de mercure pesant 13 grammes 6, on aura pour la pression de l'atmosphère sur un centimètre carré $76 \text{ c. cube} \times 13 \text{ gr. } 6 = 1033 \text{ gr. } 6$ ou 1 kil. 033 gr.

Si la colonne du tube était de l'eau au lieu du mercure, comme elle est 13 fois 6 moins dense que le mercure, il faudrait pour obtenir une pression égale à celle de l'atmos-

phère un cylindre d'eau égal à $0^m,76 \times 13$ fois 6 = $10^m,33$.

C'est l'observation d'un fait de ce genre qui amena Torricelli, en 1643, à mesurer la pression atmosphérique. Les fontainiers de Florence avaient remarqué que l'eau dans les corps de pompe se maintenait toujours à une hauteur de 10 mètres, et qu'elle montait à cette hauteur lorsqu'ils étaient vides. Galilée avait en 1640 expliqué, par la pression de l'air, ce fait, avant lui attribué à l'horreur de l'eau pour le vide; Torricelli, en 1643, mit cette explication hors de doute en employant un liquide comme le mercure plus dense que l'eau et qui devait par conséquent monter à une moins grande hauteur pour faire équilibre à la pression atmosphérique.

Cette pression, du reste, varie avec les hauteurs et avec les époques, et le nombre de 76 centimètres ou de 1 kilogramme 0,33 n'est qu'une moyenne, un intermédiaire entre des nombres plus grands et moins grands.

Mesure des hauteurs. — On comprend toutefois comment il est possible avec un instrument de ce genre de mesurer les hauteurs des montagnes ou des espaces aériens qu'on traverse en ballon. Plus on monte, en effet, plus la pression atmosphérique faiblit et plus le mercure du tube doit baisser, puisqu'il a une moins forte pression à équilibrer. C'est ce que Pascal a constaté en 1646 sur le sommet du Puy-de-Dôme où le baromètre subit un abaissement d'à peu près 8 centimètres.

Comme à la limite de notre atmosphère, à 14 lieues environ ou 55 kilomètres à peu près, la pression exercée sur l'air est excessivement faible, la densité de ce gaz et sa force élastique doivent également être très-peu considérables. La moindre pression peut lui faire équilibre et l'empêcher de se répandre dans les espaces célestes.

Vers ces hauteurs, la raréfaction de l'air permet au voyageur de dilater sa poitrine, moins comprimée par la pression atmosphérique, la respiration est plus facile et la vie plus active; mais si l'on s'élevait trop, les gaz intérieurs de notre corps, insuffisamment comprimés par la faible pression extérieure, et trop dilatés, causeraient des hémorragies, des vertiges, des nausées, suivis bientôt de la perte des sens et de la mort.

On a calculé qu'en moyenne, 1 centimètre d'abaissement barométrique, c'est-à-dire une diminution de pression égale à 1 centimètre correspond à 107 mètres d'élévation. A 53 kilomètres du sol, le baromètre n'aurait plus qu'une hauteur de 1 millimètre (0^m,001).

En effet, comme l'air est 770 fois moins dense que l'eau et presse 770 fois moins, et que celle-ci presse déjà 13,59 fois moins que le mercure, pour qu'une colonne d'air exerce la même pression qu'une colonne mercurielle, il faut qu'elle ait une hauteur $1 \times 13,59 \times 770$ ou 10,464 fois plus grande. Si en s'élevant sur une montagne, on voit le baromètre baisser d'un millimètre, c'est qu'on s'est élevé de 10 m. 464; toutefois, ceci n'est vrai que pour des hauteurs peu considérables, car les varia-

tions de température et de densité croissant avec les hauteurs, il faudrait tenir compte de ces circonstances.

Si la colonne baisse de 15 mm., c'est qu'on s'est élevé ou que la hauteur de l'air a diminué de $15^{\text{mm}} \times 10^{\text{m}} 464$.

On a, du reste, construit des tables barométriques fondées sur l'observation qui indiquent aux voyageurs des montagnes ou des ballons, les diminutions qui correspondent à certaines hauteurs.

Plus les couches aériennes sont élevées et éloignées de la terre, moins la chaleur du soleil réfléchi par celle-ci s'y fait sentir ; et comme le froid condense l'air et que la chaleur le dilate, le premier doit faire peser plus l'atmosphère, et le second, au contraire, alléger son poids. Dans les régions élevées de l'équateur, il doit donc régner un froid constamment rigoureux.

La température moyenne d'une colonne atmosphérique, serait de 8° sous zéro ; la différence de température de deux couches de 1° pour 225 mètres d'élévation, et par suite au delà de l'atmosphère, la température de l'espace serait de 142° à 160° sous zéro.

Aussi voyons-nous vers 4,500 à 4,800 mètres, sur les montagnes de l'équateur, une limite où les neiges sont perpétuelles ; plus près des pôles, cette limite se rencontre vers 600 mètres seulement d'élévation.

On conçoit comment il est possible d'évaluer en chiffres les variations de la pression atmosphérique causée par les variations de densité de l'air dues à l'action de la chaleur. En effet,

il suffit, pour mesurer les variations, d'appliquer le tube et la cuvette dont nous avons parlé sur une planchette que l'on divise en une échelle de 760 ou 780 parties, et dont le 0 est au niveau de la cuvette, tandis que le niveau supérieur du mercure dans le tube est à 76 centim. ou 760 millimètres. C'est le baromètre.

On emploie encore le baromètre de Fortin à cuvette mobile; le baromètre à siphon ou à deux branches dont la petite branche remplace la cuvette, et le baromètre de Gay Lussac, construit en forme de siphon, dont les deux branches ont le même diamètre, et qui peut s'enfermer dans une canne.

Pour qu'un instrument de cette nature soit bon, il faut qu'au-dessus du mercure du tube il ne reste aucune bulle d'air ni de vapeur, etc., et que le vide y soit parfait; on en est sûr lorsque le mercure, quand on retourne doucement l'appareil, frappe avec un bruit sec l'extrémité du tube.

Indication du temps. — Dans les usages ordinaires on se sert souvent d'un baromètre à cadran et à siphon, où un poids suspendu à un fil qui repose sur le mercure de la petite branche communique avec une poulie sur l'axe de laquelle est soudée une aiguille. Lorsque le mercure s'abaisse ou s'élève le poids s'abaisse ou s'élève également, fait tourner la poulie et par suite l'aiguille, et comme on a cru remarquer 1° que lorsque le baromètre monte ou qu'il descend, c'est un signe de temps sec ou de temps orageux ou pluvieux; 2° que les vents chauds

nous amenaient de la pluie, et les vents froids le beau temps, on a marqué ces indications sur le cadran où se meut l'aiguille dont les mouvements indiquent ainsi, sans grande exactitude, les variations de la pression atmosphérique.

Lorsque l'air est échauffé, il devient plus léger, il monte comme le fait la fumée; le mouvement calorifique contrebalance l'effet de la pesanteur, et, par suite, la pression qu'exerce l'air sur la terre et sur le mercure du baromètre décroît, et le baromètre baisse. Moins de chaleur, au contraire, accroît la densité de l'air, et par suite sa pression; le baromètre alors doit hausser, c'est-à-dire qu'il marche en sens inverse du thermomètre qui marque la chaleur et monte lorsqu'il fait chaud, tandis qu'alors le baromètre baisse; le thermomètre baisse au contraire lorsqu'il fait froid, tandis qu'alors le baromètre hausse. On peut ainsi mesurer l'action inverse et l'intensité en sens contraire de ces deux mouvements opposés, la pesanteur qui agit de l'extérieur à l'intérieur de la terre, et la chaleur qui agit de la surface à l'extrémité de l'atmosphère.

Dans les pays comme la France, le baromètre est au-dessus de 0^m758 par le beau temps; il descend au-dessous dans les moments de neige, de vent, de pluie ou d'orage; lorsque le baromètre marche lentement vers un point ou un autre, ses indications deviennent assez probables, au moins pour le lieu où il a été construit, car les différentes localités ne peuvent se servir in-

différemment des mêmes baromètres, parce que les vents et les pluies plus ou moins constantes font varier périodiquement la température et par suite la densité de l'air. A Paris, et en Europe généralement, on a remarqué que les vents qui viennent du sud-ouest font baisser le baromètre, parce que quoique chauds, ils ont pris à la mer ses vapeurs qui se résolvent en pluies sur nos contrées. Les vents plus denses et plus froids du nord font monter le baromètre, et comme ils ont traversé des continents d'une vaste étendue, ils sont desséchés et font régner un beau temps. Toute variation brusque est suivie de vent ou de mauvais temps.

On marque par suite ainsi la correspondance de la pression de l'air et du temps probable.

Air dense qui fait monter le baromètre à

785 mill. temps très-sec.

776 — beau fixe.

767 — beau.

758 — variable.

Air moins dense qui fait baisser le baromètre à

749 mill. pluie ou vent.

740 — grande pluie.

731 — tempête.

Variations régulières de l'air. — Mais on ne peut avoir une grande confiance dans des indications de ce genre dont la certitude n'est pas prouvée ; car dans les régions équa-

toriales, le baromètre reste invariable pendant les plus violentes tempêtes.

Au contraire, il est constant que les variations considérables, c'est-à-dire de 4 c. au-dessous et 3 c. au-dessus de 0,76 c. sont très-rares, et que la moyenne d'une année est très-sensiblement la même. D'ailleurs, dans une même journée, il y a des mouvements réguliers maximum et minimum d'environ 2 mill. qui varient, en France, avec les saisons ; en hiver, par exemple, une ascension maximum a lieu à 9 heures du matin et une autre à 9 heures du soir ; la baisse minimum à 3 heures après midi et à 4 heures du matin.

En été, les maximum sont à 8 heures du matin et à 11 heures du soir ; l'un des minimum à 4 heures du soir. Ces mouvements, qui ressemblent au flux et au reflux des marées de l'Océan, sont des oscillations dont la cause paraît être identique à celle de ces phénomènes.

Le baromètre atteint sa hauteur moyenne entre midi et une heure ; il baisse ensuite jusqu'à quatre heures où il atteint son minimum de baisse, et où l'air, qui a une plus grande force élastique, se dilate, s'écoule et presse moins notre surface terrestre. Il monte alors et de nouvelles masses aériennes viennent le remplacer. La pression augmente ensuite jusqu'à neuf et dix heures du soir, où elle est maximum ; il y a une nouvelle baisse dont le minimum est vers quatre heures du matin, parce que l'atmosphère est moins élevée la nuit ; puis une nouvelle aug

mentation de pression se manifeste, et son maximum est vers neuf et dix heures du matin, où la température est plus fraîche et l'air plus dense.

Pipette et pression de l'air. — Je prends un tuyau de plume, ouvert aux deux bouts, et je bouche une des extrémités avec du mastic, en ne laissant qu'un très-petit espace pour communiquer avec l'intérieur du tuyau ; je plonge ce tube dans de l'eau, et lorsqu'il est plein, je bouche son ouverture supérieure avec mon doigt. Je le retire de l'eau, et je remarque qu'aucune goutte ne s'échappe par l'extrémité inférieure aux trois quarts bouchée, parce que la pression de l'air retient le liquide à l'intérieur, ainsi que le peu d'air qui reste au-dessus de celui-ci. Si toutefois je presse un peu le tube vers le haut ou si j'appuie un peu moins fort le doigt sur l'ouverture, je vois la pression inférieure être plus forte, une goutte tomber et une bulle d'air traverser l'eau pour monter en haut. Si maintenant je veux faire écouler dans un autre vase l'eau du tube, en masse ou goutte par goutte, je retire complètement ou seulement à petits intervalles, mon doigt de l'extrémité supérieure et à mesure, l'air intérieur du tuyau se dilate, fait équilibre à la pression atmosphérique inférieure, pousse le liquide et le fait tomber goutte à goutte. Lorsqu'on veut prendre une petite quantité d'un liquide dangereux dont il faut compter les gouttes, comme de l'iode, du laudanum, etc., ou en mettre une quantité donnée dans un médicament, il est facile et nécessaire de se servir

d'un tuyau de ce genre. C'est ce qu'on appelle une pipette.

Tâte-vin. — Un petit tube de fer-blanc appelé tâte-vin sert à retirer d'un tonneau rempli une petite quantité de vin. Il a une ouverture très-petite à sa partie inférieure terminée en pointe, puis à partir d'un léger renflement existant près de cette pointe, le tube diminue de plus en plus de diamètre et se termine par une autre ouverture.

Plongé dans le liquide, il se remplit de vin; on ferme alors avec le pouce l'ouverture supérieure pour intercepter le passage de l'air et l'on retire l'instrument. Le liquide baisse un peu dans celui-ci, et l'air qui reste au-dessus du vin, dans le tube, se dilate, puisqu'il trouve assez d'espace pour le faire; mais en même temps la pression atmosphérique qui s'exerce à l'intérieur fait monter le vin dans le tube, car elle a une force supérieure à celle de l'air du tube. Si l'on sort tout à fait le tâte-vin du liquide, le vin dont l'instrument est rempli y reste sans qu'il en tombe, parce que la pression atmosphérique fait équilibre par l'étroite ouverture du bas au poids du vin contenu dans le tube et à l'air dilaté au-dessous de celui-ci. Il suffit ensuite d'enlever le pouce de l'ouverture supérieure pour que la pression atmosphérique s'égalise en haut et en bas, qu'elle cesse à la partie inférieure de retenir le liquide, et que celui-ci s'écoule dans le vase où on a voulu le transporter.

Pompes. — La mécanique donne une multitude de moyens pour élever l'eau, au moyen

de roues, de turbines, de chapelets, de norias; la physique possède aussi quelques machines fondées sur d'autres principes qui ne rendent pas moins de services; il faut placer en première ligne les pompes, qui peuvent se réduire à trois genres différents; les pompes aspirantes, les pompes foulantes et les pompes à la fois aspirantes et foulantes.

Elles sont toutes formées d'un tuyau plongeant dans le liquide, d'un corps de pompe ou cylindre qui renferme un piston ou masse de métal qui remplit le cylindre, et de soupapes qui s'ouvrent et se ferment en divers sens.

Dans la pompe aspirante le tuyau d'aspiration est muni, à une hauteur moindre de 10 mètres au-dessus de l'eau, d'une soupape qui *s'ouvre de bas en haut*; le piston à son extrémité supérieure en possède une autre, également dirigée dans le même sens. Lorsque le piston s'élève, il laisse au-dessous de lui un espace libre où l'air du tuyau d'aspiration se répand en soulevant la soupape inférieure. Cette expansion diminue la pression de l'air intérieur sur l'eau, tandis que la pression de l'air extérieur continuant d'agir sur celle-ci, la pousse dans le tuyau d'aspiration. Lorsque le piston redescend, il comprime l'air qui a pénétré dans le corps de pompe, et qui ne peut revenir sur sa route, parce que la soupape inférieure est fermée; cet air ne trouvant pas d'autre issue soulève la soupape du piston, et se répand dans l'atmosphère. Si on relève une seconde fois le piston, agissons lentement et exami-

nous bien ce qui va se passer. D'abord la soupape supérieure, n'étant plus pressée par l'air, se ferme par son propre poids ; l'air du tube inférieur est encore aspiré, dilaté, il remplit de nouveau la cavité de la pompe, en soulevant la soupape inférieure, et comme l'eau est pressée par l'atmosphère, qui est plus puissante que l'air intérieur, elle suit celui-ci dans sa course ascendante. Si le piston retombe, cet air comprimé sortira de même par la soupape du piston, et de cette manière, à chaque coup de piston, l'eau s'élèvera de plus en plus dans le corps de pompe, soulevant à son tour, successivement, la première soupape, puis celle du piston, passant au-dessus de celui-ci, et s'y amassant enfin de manière à pouvoir s'écouler par le haut du corps de pompe ou par tout autre orifice supérieur.

Dans les pompes foulantes, l'eau doit monter dans un tuyau latéral, communiquant avec le corps de pompe par une soupape qui s'ouvre de bas en haut, et qui se ferme lorsque le tuyau est rempli d'eau. Mais ici le piston est plein et n'a plus de soupape, et c'est par sa pression sur l'eau qu'il détermine son ascension dans le tuyau de côté.

Les pompes aspirantes et foulantes à la fois, sont la réunion de ces deux moyens ; l'aspiration a lieu comme dans les premières pompes ; seulement, l'ascension est produite par refoulement, comme dans les secondes.

Afin de rendre le jeu continu, comme dans les pompes à incendie, par exemple, on ajoute

au tuyau d'ascension un réservoir d'air, au moyen duquel, lorsque le refoulement de l'eau par le piston est opéré et que celui-ci se relève, l'air à son tour, comprimé par le piston, exerce aussi sa pression sur le liquide et continue à le faire jaillir, en attendant un nouveau refoulement du piston.

Siphons. — Lorsqu'on veut faire passer un liquide d'un vase ou d'un réservoir élevé dans un autre situé plus bas, on emploie un *siphon* ou tube recourbé à branches inégales. On s'en sert pour détourner des cours d'eau, opérer l'épuisement d'une rivière, pour transvaser en général des liquides dans des réservoirs placés à des niveaux différents. On commence d'abord, lorsqu'on veut faire fonctionner un siphon, par le remplir directement de liquide, en bouchant ses deux extrémités et en le renversant, sa plus courte branche dans le vase inférieur ; on appelle cela l'*amorcer*. On peut encore l'*amorcer* en aspirant l'air qu'il contient par la branche la plus longue ; il se remplit alors de l'eau du vase supérieur, et cette eau, pressée par l'air, s'élève dans le tube où l'on a fait le vide par l'aspiration. La plus grande branche contient bientôt un excédant d'eau qui surpasse la pression de l'air sur son orifice inférieur, et qui, par conséquent, s'écoule dans le vase inférieur.

Les grands siphons en fonte ou en maçonnerie s'amorcent en les remplissant d'eau par le haut après avoir bouché leurs extrémités.

Les fontaines intermittentes qui coulent à des intervalles plus ou moins rapprochés,

doivent leur origine à une sorte de siphon naturel, formé par les fissures par lesquelles l'eau sort. Le réservoir s'emplit peu à peu par les infiltrations du sol ou par une petite source, et lorsque le niveau de l'eau dépasse le sommet du siphon, celui-ci se remplit d'eau et il y a écoulement. Cet écoulement cesse lorsque le niveau de l'eau est redescendu à une certaine distance au-dessous du siphon et ne peut plus l'amorcer. Il est facile avec un siphon en verre de répéter ce phénomène et de produire à volonté une fontaine intermittente, que l'on peut régler de manière qu'elle coule à des intervalles égaux.

Encriers siphoides. — Encriers-pompes. — On a imaginé de faire régler la venue de l'encre dans les encriers par la pression même de l'air. Les encriers siphoides ont généralement la forme d'un tronc de cône à 8 pans, n'ayant de communication avec l'extérieur que par une petite tubulure assez étroite. On ne remplit pas complètement d'encre la capacité de l'encrier, et l'air intérieur qui presse sur cette encre la fait peu à peu, par son élasticité, descendre dans la tubulure, sans qu'elle soit ni salie par la poussière, ni évaporée par le contact de l'air extérieur. Lorsque l'on prend de l'encre, celle-ci finit par s'abaisser jusqu'à l'ouverture qui joint la tubulure et le corps de l'encrier; il entre alors de l'air qui va se mêler à celui qui pèse sur l'encre et qui fait redescendre celle-ci dans la tubulure, par suite de sa plus grande élasticité. Le niveau de l'encre baisse ainsi, puis remonte dans

la tubulure, pendant que le niveau descend constamment dans le vase :

Mais si on transporte l'encrier d'un lieu où la température est basse à un lieu où la température est plus élevée, la force élastique de l'air augmente, abaisse le niveau de l'encre, et quelquefois répand celui-ci au dehors.

L'*encrier-pompe* se compose uniquement d'un cylindre plein en porcelaine, plongeant dans un réservoir d'encre ; en s'enfonçant plus ou moins, à l'aide d'une vis, dans le liquide, il fait monter l'encre dans un godet latéral. Ce piston de porcelaine sert également à arrêter l'évaporation de l'encre, et à intercepter presque complètement le contact avec l'air et la poussière ; lorsqu'il est suffisamment remonté, il ne presse plus le liquide, et par suite l'encre du godet rentre dans le corps de pompe.

Réservoirs. — Puits artésiens. — Tous les liquides renfermés dans des vases ou dans de grands réservoirs qui communiquent entre eux ont la propriété de se mettre en équilibre, c'est-à-dire de tendre tous à prendre le même niveau. Aussi lorsque l'on veut distribuer l'eau nécessaire à l'alimentation dans les divers quartiers d'une ville, on se contente de l'élever au moyen de machines élévatoires, pompes et autres, jusqu'à un réservoir situé à une hauteur convenable. Ce réservoir communiquant par des tuyaux en fonte avec d'autres réservoirs plus petits, amène l'eau de tous côtés et à toutes les hauteurs. La fameuse machine de Marly sert précisément à rendre ce service et à élever l'eau de

la Seine à 155 m. de manière à la répandre dans un pays qui manque complètement d'eau.

Lorsque l'eau jaillit des sources ou des puits artésiens à une grande hauteur au-dessus du sol, c'est à une cause identique qu'il faut l'attribuer ; ces eaux viennent de réservoirs très élevés, situés sur de hautes montagnes, et en coulant sur leurs flancs, elles s'infiltrent dans la terre entre des couches solides qu'elles ne pénètrent pas, mais qu'elles pressent de tous côtés pour trouver une issue. Lorsque l'on fait, par un forage, une ouverture dans les terrains qu'elles traversent, elles jaillissent très-haut, d'autant plus haut que le réservoir était plus élevé et par suite la pression plus grande. Les puits ordinaires où l'eau reste toujours au même niveau sans s'épuiser, mais aussi sans arriver même à la surface de la terre, indiquent que le réservoir d'où arrivent les eaux est moins élevé que cette surface.

Jets d'eau. — C'est par le même moyen qu'on produit à volonté les jets d'eau. On a soin toutefois que l'eau qui sort du réservoir ne soit pas trop pressée contre les tuyaux de conduite dans sa route jusqu'à l'orifice par où elle doit jaillir. Il importe, pour conserver à l'eau toute sa vitesse, de donner à ces tuyaux une assez grande largeur, d'éviter les coudes brusques et les étranglements. L'orifice ou l'ouverture du jet doit aussi être très-étroite. On termine souvent cet orifice par une espèce de calotte sphérique, que l'on perce de plusieurs petites ouvertures obli-

ques, ce qui donne plusieurs jets réunis ou une *gerbe*. On a même beaucoup varié la forme des jets, en rendant mobile une partie de ces orifices, tandis que le centre reste immobile; on a aussi des jets qui se croisent et s'entrelacent en tournant, et qui présentent des aspects très-variés.

Aération des mines. — Dans les mines on établit, pour aérer les galeries, des courants d'air produits par des puits dont l'orifice n'est pas à la même hauteur. Chacun de ces puits supporte une pression différente; la colonne d'air qui presse le moins élevé étant plus considérable que celle que supporte le puits dont l'orifice est le plus élevé, il en résulte des courants continuels dans la mine où aboutissent les deux puits. Seulement ces courants varieront de sens selon les saisons.

Comme la température de la terre, à une certaine profondeur, est toujours égale, cette température se trouve, en été, plus basse que celle de l'atmosphère; l'air extérieur étant plus chaud et moins dense, détermine l'ascension de l'air de la mine, car il pèse moins sur lui. Le courant partira donc du puits à orifice le plus élevé vers le puits moins élevé.

En hiver, au contraire, la température de la terre est plus élevée que celle de l'atmosphère, l'air de la mine est moins dense, plus pressé que l'air extérieur; le courant partira donc du puits le moins élevé, qui supporte une plus forte pression, vers le puits le plus élevé.

PRESSIONS DANS LES LIQUIDES ET LES GAZ. —
APPLICATIONS

Corps flottants. — Lorsque je vois sur la rivière flotter des pierres, des madriers énormes et d'autres corps très-pesants, je me demande pourquoi ils ne tombent pas au fond de l'eau, et je m'aperçois que c'est parce qu'ils sont réunis à des radeaux de bois léger, qui sont très-peu denses, mais qui ont un très-grand volume, une très-longue surface. Or, comme ces radeaux déplacent un poids d'eau égal à leur propre poids, s'ils ont un volume de 10,000 litres et un poids de 4,000 kilogrammes, ils n'enfonceront dans l'eau que de 4,000 litres, car le liquide déplacé ayant un poids égal au leur, ce poids sera de 4,000 kilogrammes; ils flotteront donc au lieu de s'enfoncer.

Corps immergés, poids spécifiques. — Si l'on plonge dans l'eau ou dans un liquide quelconque un corps solide, ce corps perd une partie de son poids, comme si on en enlevait un morceau, et cette partie, égale précisément le poids du liquide qu'elle remplace. Si, par exemple, on pèse un dé de 5 grammes et qu'on le place ensuite dans un verre plein d'eau, qu'on pèse aussi, et qui pèse par exemple 30 grammes, ce dé en fait sortir une certaine quantité d'eau égale à son volume ou à l'espace qu'il occupe, par exemple, 1 millimètre cube; si l'on pèse ensuite ce millimètre cube d'eau et qu'on trouve, par exemple, qu'il pèse 1 décigramme, le dé

perd donc 1 décigramme de son poids et ne pèsera plus que 4 gr. 90 décig.

Si on avait mis dans une balance, d'un côté 35 grammes et de l'autre l'eau et le corps solide, il faudrait ajouter dans le plateau, de ce dernier côté, un poids de 1 décigramme, égal à celui de l'eau déplacée.

Si le poids du corps immergé est égal au poids du volume d'eau qu'il déplace, c'est-à-dire s'ils pèsent tous deux 4 grammes, par exemple, le solide reste en équilibre au milieu du liquide. Si le corps est plus lourd que le liquide qu'il déplace, il tombe au fond de l'eau. S'il est plus léger, il est poussé par le liquide à la surface et ne s'arrêtera que lorsqu'il ne déplacera plus qu'un volume d'eau égal à son propre poids; il surnagera comme le liège, le bois léger, la glace.

Si un corps, une aiguille graissée, par exemple, est placée sur l'eau, et n'est pas, à cause de la graisse, mouillée par l'eau, elle déplace un volume d'eau plus grand que son propre volume, mais qui aura le même poids que l'aiguille et qui fera flotter celle-ci au lieu de la laisser tomber au fond.

Insectes marchant sur l'eau. — C'est ainsi que certains insectes marchent sur l'eau : leurs pattes sont armées et fournies de telle sorte qu'elles ne peuvent être mouillées par l'eau ; elles s'appuient sur la surface liquide sans y pénétrer et dépriment cette surface. Les creux ainsi formés par les pattes doivent être de dimensions telles, que l'eau qui les remplissait pèse autant que le corps de l'animal ;

dans ces conditions, celui-ci reste en équilibre à la surface de l'eau.

Tous les corps, même les plus lourds, peuvent ainsi flotter sur les divers liquides, pourvu qu'on donne à ces corps des formes convenables, et que la partie immergée déplace un poids du liquide égal au poids du corps tout entier. C'est ce qu'on observe dans les barques et dans les plus petits comme dans les plus grands vaisseaux ; quels que soient leur poids, leur chargement et leurs dimensions, ils flotteront toujours si, par leur forme, ils déplacent une quantité d'eau assez considérable pour faire équilibre à leur propre poids.

Flotaison des navires. — Pour qu'un bâtiment soit toujours en équilibre sur l'eau, et pour qu'il ne puisse se renverser d'un côté ou de l'autre, il faut d'abord que son centre de gravité soit aussi bas que possible, ce qu'on obtient à l'aide de lest placé à fond de cale ; puis il faut donner au navire une forme telle que la poussée du liquide tende toujours à le relever lorsqu'il a été incliné ; la forme en angle courbe est la plus propre à ce résultat. Aussi les carènes présentent-elles toujours cet aspect curviligne.

On évalue la force d'un navire d'après son poids total, c'est-à-dire d'après la quantité d'eau qu'il peut déplacer. Un navire de 100 à 500 tonneaux peut porter, y compris son propre poids, un chargement donnant un total de 100,000 à 500,000 kilog., la tonne ou tonneau valant 1000 kil. ; et il peut déplacer de 1 à 500 mètres cube d'eau, car 1000 kilog. égalent 1 mètre cube.

Toutefois, ceci n'est vrai que pour la navigation en eau douce ; car l'eau de la mer ayant une densité de 1,026, le mètre cube de cette eau vaut 1026 kilog., et la valeur d'une tonne en eau n'est plus en volume que de 0 m. c. 950 c. cubes.

Si donc la surface de flottaison est de 100 mètres carrés, tout accroissement de 1026 k. dans la charge du navire le fait enfoncer de 1 centimètre, car il a à déplacer en plus 1 mètre cube d'eau. Plus donc cette surface de flottaison sera grande et moins le navire s'enfoncera.

Vessies natatoires; ceintures de sauvetage.

— Il y a aussi des poissons qui s'élèvent et descendent dans l'eau ; ils ont la faculté de déplacer à volonté un volume plus ou moins grand de liquide. Ils ont pour cela une vessie dite natatoire, qu'ils peuvent remplir par la bouche d'un gaz aériforme, lequel gonflant la vessie, augmente le volume de l'animal, le rend plus léger que l'eau déplacée par lui, et le fait monter à la surface, sans qu'il se donne aucun mouvement. Pour descendre, il n'a qu'à expulser de sa vessie l'air qu'elle contient.

On a appliqué ce principe aux ceintures de sauvetage ; ce sont des bourrelets remplis d'un gaz léger, qui augmentent le volume de liquide déplacé par les personnes plongées dans l'eau. Enfin, dans la natation elle-même ces principes trouvent leur application ; les individus très-corpulents déplaçant un volume plus considérable, et égal à leur poids total, peuvent se soutenir sans peine et presque

sans mouvement sur l'eau. C'est par la même raison que les cadavres qui ont séjourné longtemps dans l'eau et qui ont perdu quelque chose de leur poids primitif, flottent quelquefois à la surface, et qu'on a vu des personnes couvertes de robes et vêtements amples, se soutenir sur l'eau en déplaçant un volume de liquide égal et au de'à à leur propre poids. C'est enfin ainsi qu'on a pu construire ces légers bateaux en forme de patins, à l'aide desquels on peut marcher sur l'eau sans enfoncer, parce que leurs dimensions sont telles qu'ils déplacent un volume égal au poids de l'homme.

Cloches à plongeur. — *Nautilus, scaphandres*, etc. — Les cloches à plongeur sont des appareils destinés à travailler sous l'eau, à descendre au fond des fleuves, et même des mers, sans se noyer. Ce sont des espèces de cloches contenant de l'air, et qui, comme le verre à boire qu'on plonge dans l'eau l'ouverture en bas, ne peuvent être mouillées par l'eau par suite de l'imperméabilité de l'air.

Ces cloches ne peuvent jamais contenir beaucoup d'ouvriers à la fois, quatre au plus. On peut, au contraire, faire travailler à l'eau jusqu'à quarante ouvriers à la fois, à l'aide des bateaux à air dans lesquels on comprime l'air à l'aide de tuyaux et de pompes mues par la vapeur. Cet air sert, non-seulement à la respiration des ouvriers, mais encore, lorsqu'on veut remonter, à chasser l'eau, qu'on a fait entrer dans une caisse afin de servir de lest; on n'emploie ces bateaux

que pour de petites profondeurs, car passé cinq mètres, la pression de l'eau en affaiblit les parois.

Le *nautilus* est une modification de cet appareil; c'est une grande caisse où sont placés les ouvriers, entourée d'autres petites caisses, dans lesquelles on fait entrer à volonté par des robinets, de l'air ou de l'eau, selon qu'on veut faire remonter ou descendre l'appareil. On fait pénétrer dans la chambre de travail autant d'air qu'il en faut pour faire équilibre à la pression de l'eau; on peut, au fond de l'eau, enlever une partie mobile du plancher et travailler sur le sol comme sur la terre. Le tuyau qui transmet l'air pourrait même se rompre sans danger, ainsi que tout autre moyen de communication avec la surface, parce que le *nautilus* remonte de lui-même en vidant ses cavités latérales de l'eau qu'elles contiennent; on peut à volonté faire voyager cette cloche sous l'eau, lui faire descendre des pierres, en un mot exécuter avec elle tous les travaux quels qu'ils soient.

Ces appareils, toutefois, ne peuvent servir que lorsque les ouvriers doivent travailler sous leurs pieds; tandis que les *scaphandres* permettent le travail dans toutes les positions; ce sont des vêtements tout d'une pièce, en caoutchouc, réunis par une épaulière en métal, à un casque métallique large, et muni à hauteur des yeux de deux carreaux en verre épais de 13 centimètres; deux conduits aboutissent à ce vêtement; l'un amène du dehors l'air pur nécessaire à la respira-

tion, l'autre sert à l'expulsion de l'air vicié.

L'air pur arrive, non-seulement à la tête, mais par tout le corps, de manière à augmenter la quantité d'air concentré et d'égaliser la température. Le vêtement de l'ouvrier, en se gonflant d'air, le rend plus léger que l'eau et le fait monter à la surface; il peut donc toujours remonter à volonté, comme il peut descendre aussi lentement qu'il le veut, sans être entraîné par des poids énormes, comme avec les anciens appareils de plongeur.

Natation. — Un volume d'eau douce égal au volume du corps d'un homme, est plus lourd que l'homme. L'homme étant donc plus léger que l'eau, peut flotter sur elle, et encore plus facilement sur la mer qui est plus lourde ou plus dense. La seule difficulté réelle que présente donc la natation est de maintenir la tête hors de l'eau; à cause de son poids, elle tend, en effet, sans cesse à plonger sous l'eau; c'est pour cela qu'il importe de compenser cette accumulation de poids par des mouvements des pieds et des mains qui, en déplaçant un plus grand volume d'eau, allègent d'autant l'homme et sa tête. Si notre tête pesait moins, ce qui arrive chez les animaux, nous aurions moins de difficulté à nous maintenir sur l'eau, et nous arriverions à y nager avec la même facilité qu'ils le font.

Un autre fait qui se produit dans la natation, où il ne s'agit pas seulement de flotter sur l'eau, mais de s'y diriger, est la nécessité de trouver pour point d'appui de nos mou-

vements de pieds et de mains, une substance assez résistante pour que ces mouvements n'aient pas lieu en vain ; nous aurions beau, par exemple, faire aller nos pieds et nos mains dans l'air, nous n'y trouverions pas de point d'appui ; nous en trouvons un peu dans l'eau, parce qu'elle est plus dense que l'air, et qu'en la refoulant violemment, elle nous oppose une certaine résistance qui nous soutient. Sur la terre, le sol, résistant fortement, nous permet d'avancer et de nous remuer sans que l'air qui nous environne et qui est peu résistant gêne nos mouvements, excepté pendant les vents forts, où l'intensité même du mouvement aérien nous ébranle, mais où, comme l'on sait, il est possible de trouver un point d'appui dans l'air même en fendant fortement le vent ; on se sent alors comme porté par l'air environnant.

Mais dans l'eau, il n'en est plus ainsi ; la résistance qu'on a trouvée aux mouvements des mains et des pieds pour s'appuyer, on la retrouve encore devant soi pour avancer. La résistance étant égale à l'appui qu'on a trouvé, on n'avancerait pas si on ne diminuait immédiatement la surface de son corps, de ses bras, mains et jambes, en leur donnant une position anguleuse, resserrée, et non plus étendue et horizontale, comme lorsqu'il s'agissait de trouver un point d'appui. Ainsi les mains, au lieu de rester ouvertes, sont présentées ensuite dans le sens vertical, de manière à fendre l'eau, etc.

La poitrine de l'homme qui se lance à l'eau après une inspiration contient environ 2.165

cent. cubes d'air, qu'on peut réduire par la contraction à 575 cent. cubes ou au quart. La compression peut donc être, sans danger, de quatre atmosphères pour l'air inspiré.

On peut alors, en plongeant, équilibrer la pression de l'eau jusqu'à 30 mètres au-dessous de sa surface.

La pression qu'on supporte dans l'eau n'écrase pas l'homme, parce que les charges se font équilibre sur le corps et que l'air des cavités intérieures est pressé comme l'eau elle-même. C'est ainsi que des mouches, des grenouilles, vivent dans de l'eau tiède comprimée.

Vol. — D'après cela, on voit combien il est plus difficile de se maintenir dans l'air, qui est peu dense, et d'y voler; on n'y peut trouver un point d'appui qu'en frappant une grande surface, et en ayant par conséquent des membres d'une très-grande envergure. De plus, comme le point d'appui, l'air, est très-mobile et se déplace très-vite, il faut avancer aussi très-vite pour trouver un air moins mobile et plus calme à frapper. Il faut donc dépenser une force motrice plus considérable que sur la terre; aussi les oiseaux qui volent ont-ils une chaleur animale supérieure à celle des animaux terrestres et de l'homme. La chaleur interne de leur corps qui se transforme en force motrice est de 47 degrés.

Pour frapper une surface étendue, les oiseaux et quelques animaux terrestres qui, comme la chauve-souris, peuvent se maintenir dans l'air, ont donc besoin d'ailes d'une

étendue proportionnée à celle de leur corps, et qui, après le choc de l'air, peuvent ensuite se replier de manière à occuper très-peu d'espace; ces ailes, chez les chauves-souris, ne sont que des espèces de membranes qui relient ensemble leurs pattes, leurs mains, leurs bras, leurs épaules et leurs doigts; mais l'étendue de ces membranes est considérable, et lorsqu'ils tendent cette espèce de parapluie, dont leurs os font les baleines, ils déplacent une assez forte somme d'air pour y trouver un point d'appui suffisant.

Aérostats. — La fumée monte dans l'air, soutenue par le mouvement calorifique qui l'y pousse. L'air échauffé est plus léger que l'air froid, il monte comme la fumée, par la même cause. Si on enferme cet air échauffé dans un ballon très-léger formé de toile ou de papier, ce ballon montera également, comme les bulles de savon qui renferment de l'air. Telle est l'origine des aérostats. Les frères Montgolfier, en 1783, à Annonay, faisaient brûler sous un globe de toile, ouvert à sa partie inférieure, de la paille, des papiers qui produisaient un courant d'air chaud, et enlevaient le ballon où cet air se trouvait recueilli. De là, le nom de montgolfières donné aux ballons à air chaud.

Pilâtre de Rozier, d'Arlandes, Charles et Robert, furent les premiers qui osèrent attacher à un ballon de ce genre une nacelle, espèce de panier où ils se placèrent pour voyager dans les airs. Mais comme il fallait entretenir toujours dans les montgolfières un foyer

allumé qui pouvait à tout moment mettre le feu au ballon et à la nacelle, on substitua bientôt à l'air chaud, le gaz hydrogène, le plus léger de tous les gaz, qui offrait moins de dangers que l'air.

Aujourd'hui, on emploie pour gonfler les ballons, le gaz de l'éclairage ou hydrogène carboné qui, quoique plus lourd que le gaz hydrogène pur, l'est encore moins que l'air et peut être obtenu plus facilement et à meilleur marché, puisqu'il est produit tous les jours en grande quantité dans les villes éclairées au gaz.

Le ballon lui-même, qui doit présenter une certaine résistance, est formé de grandes bandes de taffetas cousues et recouvertes d'un vernis imperméable de caoutchouc. On ne gonfle jamais complètement le ballon, afin que le gaz puisse se dilater sans faire crever l'enveloppe, lorsqu'il arrivera dans des couches d'air moins dense qui le presseront moins à mesure qu'il s'élèvera. On dispose à la partie supérieure de l'enveloppe une soupape qu'un ressort maintient fermée, mais que l'aéronaute peut ouvrir à l'aide d'une corde lorsqu'il veut vider son ballon de gaz, ou mêler celui-ci à l'air extérieur pour le faire descendre. On charge toujours la nacelle d'une certaine quantité de lest ou sacs de sable que l'aéronaute jette dans le vide lorsqu'il veut alléger son poids et monter; le baromètre lui indique le nombre de mètres dont il monte ou descend.

La descente, souvent dangereuse lorsque l'aéronaute n'est plus maître de son ballon,

qui se vide trop rapidement, ou qui se déchire, peut être opérée à l'aide d'un parachute, espèce de grand parasol d'environ 15 mètres de circonférence qui ne peut tomber que lentement à cause de la résistance de l'air qui gonfle son envergure; cet air s'échappe par une ouverture placée au centre du parasol, afin qu'il ne déchire pas celui-ci, ne le fasse trop osciller. Des cordes fixées à la circonférence extérieure soutiennent une nacelle où se place l'aéronaute qui veut quitter son ballon.

On s'est servi dans quelques guerres de ballons captifs, c'est-à-dire retenus par des cordes, ou même de ballons libres, pour observer les mouvements de l'ennemi; celui-ci tirait vainement sur ces aérostats sans les atteindre, parce que le déplacement et le refoulement causé dans l'air par le mouvement de la balle déplaçaient le ballon, et le soustrayaient aux balles ou boulets qu'on lui tirait; mais les services rendus par les ballons sont encore très-peu considérables, parce qu'on ne les peut diriger à volonté.

Aéronefs. Appareils plus lourds que l'air.
— Depuis quelques années, il est fort question de voyager dans les airs et de s'y diriger, non plus au moyen d'aérostats, c'est-à-dire de ballons légers qui ne peuvent résister aux moindres vents et lutter contre eux, mais avec des appareils plus lourds que l'air ou aéronefs. On imiterait ainsi les oiseaux, qui sont en effet plus lourds que l'air, et qui s'y maintiennent par des battements d'ailes.

On a proposé pour cela des espèces d'ailes

plates, ou parachutes, qui se déploieraient comme un parapluie pour soutenir l'homme, puis se replieraient comme les ailes des oiseaux, pour remonter et fendre l'air, et présenter alors une moindre surface.

On a proposé également des espèces de cerfs-volants inclinés, qui s'enlèveraient par suite de la résistance de l'air, et auxquels il n'y aurait plus qu'à communiquer un mouvement horizontal, analogue à celui de la main et du fil qui retient le cerf-volant.

Ou bien encore on a voulu imiter ce petit instrument, le spiralifère, avec lequel jouent les enfants, et qui consiste en une surface qui tourne autour de son axe comme une hélice, et qui s'élève par ce mouvement, lorsqu'on lui a communiqué une première impulsion de rotation sur elle-même.

Rien n'empêcherait probablement de réaliser ces projets, si l'on possédait non plus seulement la machine qui pourrait le mieux naviguer dans l'air, mais surtout un moteur léger et cependant assez puissant pour faire mouvoir et emporter dans l'air l'appareil plus lourd que l'air; et c'est là la vraie difficulté.

Sans doute, pour pouvoir vaincre la résistance de l'air, il faut un corps lourd et non un corps léger; on a beau jeter avec une grande force une feuille de papier en l'air, elle n'arrivera jamais à une hauteur de 4 à 5 mètres, hauteur qu'atteindra sans peine une pierre plus lourde. Mais comment remplacer dans l'aéronef la force développée par notre bras?

Tout corps abandonné à lui-même tombe avec une vitesse de 5 mètres par seconde; il faut donc d'abord vaincre ce résultat de la pesanteur et trouver une force capable d'élever de 5 mètres ce même corps en une seconde; puis pour le faire monter de 1 mètre, il faudrait que cette force l'élevât au moins de 6 mètres. Or, pour monter suffisamment à une vingtaine de mètres, puis, pour s'y soutenir, il faudrait une force capable de produire une vitesse d'élévation beaucoup plus grande. Car, lorsqu'un corps tombe de 20 mètres, la pression de la pesanteur s'ajoute et se multiplie à chaque seconde, et l'effort à faire pour soulever le corps est plus considérable.

Ce n'est pas tout; l'homme pèse 75 kilogrammes; c'est ce poids qu'il faut élever à 6 mètres; or, il faudrait pour cela un moteur d'une force de 6 chevaux-vapeur ou six fois 75 kilog.; de plus, il faudrait que le voyageur emportât avec lui sa machine et, si c'était une machine à vapeur, son eau et son charbon.

Or, il faudrait au moins 1 kil. 1/2 de charbon par heure par force de cheval, plus l'eau; ce qui ferait déjà, rien que pour enlever un homme, 9 kil; sans compter ce qu'il reste à ajouter pour la machine et l'approvisionnement, car aujourd'hui, pour élever 15 kil. à 5 mètres en une seconde, il faut la force d'un cheval-vapeur. (V. plus loin l'explication de ce mot.)

On voit combien le problème devient difficile.

Pour enlever l'homme, il faudrait donc un moteur qui ne pesât pas plus de 15 kil. et, pour le soutenir, 3 kil. par force de cheval ; or, les plus petites machines à vapeur ne pèsent pas moins de 100 kil. par force de cheval, plus l'approvisionnement.

Enfin, un homme de 75 kil. pour se maintenir devrait se servir d'une surface en ailes d'au moins 14274 mètres carrés, poids qu'il faut encore ajouter au total.

Est-ce à dire que le problème est insoluble ? Assurément non ; seulement, il faut bien se rendre compte des difficultés qu'il présente, et c'est ce qu'on n'a pas assez fait jusqu'ici.

Les essais tentés doivent en effet tous être dirigés de manière à trouver une machine motrice d'une grande légèreté et en même temps d'une grande puissance ; on avait essayé d'en construire en aluminium, le plus léger des métaux, machine qui n'aurait pesé que 12 kilog. ; mais on n'a pas tiré grand parti de cet essai, sur lequel il conviendra de revenir ; les machines à vapeur exigent un approvisionnement toujours alourdissant ; le moteur Lenoir nécessite une machine très-solide, et par suite lourde, pour résister aux chocs brusques de la combustion du mélange gazeux, et par suite des provisions d'eau pour refroidir le cylindre très-échauffé par cette combustion. L'électricité ne produit pas une assez grande puissance motrice ; en un mot on est encore à chercher le moteur et la meilleure disposition mécanique à employer ; mais nul doute qu'on n'arrive à résoudre ce problème.

Il sera bon pour cela d'étudier de très-près le vol des oiseaux qui sous un poids très-minime possèdent une force très-grande, et qui, lorsqu'ils volent, fournissent 4 à 5 fois le travail nécessaire pour soulever leur poids qui ne dépasse pas 2 à 3 kilog. par force de cheval-vapeur.

Pour posséder cette puissance motrice, l'oiseau produit, par la respiration de l'oxygène de l'air, respiration qui ne se fait pas seulement chez lui dans les poumons, mais partout son corps, il produit, disons-nous, une oxydation ou chaleur animale de 45°, température qui nous brûlerait et nous détruirait, nous qui n'avons qu'une chaleur interne de 37°.

Enfin les appareils de vol, outre cette machine motrice qu'il possède dans son propre corps, sont parfaitement établis pour le soutenir, pour battre l'air, pour le fendre, pour former parachute, et profiter dans tous les sens de la résistance et de l'appui de l'air, même lorsqu'il est déplacé, ce que les oiseaux peuvent aisément faire puisqu'ils ont une vitesse de 40 mètres par seconde.

L'homme, auquel des ailes de 80 à 110 mètres d'envergure ne suffiraient pas, est loin encore de cette perfection ; mais avec l'étude, la science et la volonté, tout fait espérer qu'il pourra un jour voyager également dans les airs.

PESANTEUR.

Mouvements de la terre. — Force centrifuge. — On sait que la terre tourne non-

seulement autour du soleil en 365 jours, c'est-à-dire avec une vitesse de 109,440 kilomètres par heure, ou de 30 kilom. 4 par seconde (3,600 fois la vitesse d'un train de chemin de fer), mais encore qu'elle tourne sur elle-même. Or, comme elle est renflée au milieu et aplatie aux deux extrémités de son axe, ainsi qu'une sorte d'œuf placé horizontalement, tous les points qui sont à sa surface n'ont pas une égale vitesse ; à l'équateur, par exemple, un arbre placé sur le sol tourne ainsi que la terre avec une vitesse de 465 mètres par seconde, et il parcourt en un jour une circonférence d'un rayon de 6,376,464 mètres, c'est-à-dire qu'il décrit un rond de 400,000 myriamètres par jour ou en 86,164 secondes, et avec un mouvement toujours uniforme.

Comment se fait-il qu'avec cette vitesse les corps, hommes, arbres ou maisons, qui sont à la surface du globe ne soient pas projetés hors de la terre, et comment, au lieu de retomber sur elle lorsqu'ils tombent d'une certaine hauteur, ne s'envolent-ils pas dans l'air, poussés par la puissance de ce mouvement ? Nous voyons, en effet, que, lorsque nous faisons tourner une fronde avec rapidité, la pierre qui tourne à l'extrémité de la corde tend toujours à s'échapper, et lorsqu'enous lâchons la lanière qui la retenait, elle s'élançe avec une grande force et une grande vitesse, pour aller frapper le but que nous voulions atteindre, non pas tout à fait en ligne droite, mais en ligne un peu courbe, comme celle que décrit une balle lancée

obliquement. Mais ce qui retenait notre pierre dans la fronde, c'était le morceau de cuir contre lequel elle était placée ou la corde qui l'enveloppait ; il y avait un obstacle qui empêchait son départ ; si donc les objets qui sont à la surface de la terre ne la quittent pas, c'est qu'il y a un obstacle qui les y retient, une pression analogue à celle du cuir ou de la corde de la fronde contre la pierre, pression qui contrebalance la tendance au départ que le mouvement développe dans les objets.

Sur la terre, d'où vient cette pression qui retient les corps à sa surface et les empêche de la quitter en obéissant à ce mouvement analogue à celui de la fronde, qu'on appelle force et mouvement centrifuge (ou qui fuit le centre)? De la pesanteur qui pousse et presse tous les corps en les dirigeant vers la terre, et dont la force et la vitesse doit être plus grande que 465 mètres par seconde, puisqu'elle contrebalance et détruit même l'action de la force centrifuge.

Mais un corps, un arbre, qui est situé à l'équateur ou au milieu de la boule terrestre, en Afrique, décrit en tournant avec la terre une circonférence ou un rond beaucoup plus grand qu'un arbre placé en France, en Angleterre ou en Sibérie ; de même que lorsqu'on fait tourner une fronde, la partie de la corde qui est près de la main fait un moins grand cercle que celle qui touche à la pierre. Il en résulte, par exemple, que la tendance à s'échapper que possède la pierre serait moins grande à l'endroit où elle décrit les petits

cercles et plus grande lorsqu'elle décrit les grands cercles. De même, les arbres auront une plus grande tendance à s'échapper à l'équateur, où ils décrivent une plus grande courbe qu'en Sibérie ou aux pôles.

Or, cette force qui les pousse à s'échapper est contrebalancée par la force de pesanteur qui pousse au contraire tous les corps vers la terre; mais quoique la pesanteur soit la plus puissante, puisqu'elle fait tomber presque tous les corps et les empêche de s'échapper, la résistance que lui oppose la force centrifuge, n'en diminue pas moins son intensité depuis les pôles jusqu'à l'équateur. A ce point, l'intensité centrifuge étant plus grande, elle diminue d'autant celle de la pesanteur.

Qu'est-ce donc que cette force de pesanteur qui agit sur tous les corps et qui est la cause de leur chute et de tous ces phénomènes de pression et d'équilibre de l'air, des gaz et des liquides que nous avons étudiés précédemment?

Nous voyons tous les corps, lorsqu'ils sont abandonnés à eux-mêmes à quelques mètres de la terre, tomber toujours sur celle-ci, les plus lourds tomber plus vite et vaincre plus facilement la résistance que l'air oppose à leur chute. Voilà ce qui se passe tous les jours sous nos yeux; la pierre tombe plus vite que le papier, le plomb plus vite que du bois. Mais il ne faut jamais se fier exclusivement à ce que l'on voit, et nous devons changer les conditions dans lesquelles s'accomplissent les faits les plus ordinaires

pour découvrir le fond des choses. Otons par exemple l'air, et détruisons par là la résistance qu'il oppose aux corps légers. Dans un tube de verre fermé, long et large par exemple, extrayons l'air au moyen de cette pompe aspirante appelée machine *pneumatique*; ne laissons rien entrer à sa place, autrement dit, faisons le *vide*. Puis, toujours sans laisser rentrer d'air, et par un mécanisme quelconque, faisons tomber dans le tube du bois, du plomb, du papier, des barbes de plume, des fils et autres matières légères ou pesantes. Nous allons voir se passer un fait auquel nous ne nous attendions pas; tous ces corps vont tomber également vite, le plomb aussi vite que le papier, la pierre aussi vite que la plume. La différence de poids de ces matières ne signifie donc plus rien, et elles tombent, non à cause de leur poids, mais parce qu'elles sont poussées vers la terre par une force quelconque qu'on a appelée *pesanteur*.

La pesanteur agit donc malgré le vide, et elle agit avec une égale énergie sur tous les corps.

Newton, en considérant non-seulement la chute des corps, mais aussi les mouvements si bien équilibrés des astres entre eux, a dit que tous les astres s'attiraient et que le globe aussi attirait tous les corps qui sont à sa surface; suivant lui, toutes les substances de la nature s'attirent les unes les autres, les plus petites allant vers les plus grosses. C'est en effet ce qui a lieu, seulement il ne faut pas donner au mot *attraction* le sens qu'il

paraît avoir. L'attraction désigne le fait qu'on voit, c'est-à-dire la tendance des corps les uns vers les autres, mais cela ne dit rien de la cause qui produit ce phénomène.

Aujourd'hui, en physique comme en chimie, on a renoncé à expliquer par des attractions hypothétiques qui résideraient au sein des corps, les mouvements de ces corps les uns vers les autres. Il faut voir dans les faits de ce genre le résultat de mouvements de l'éther et de la matière, mouvements dont on peut se faire une idée en se rappelant ce qui se passe quand on lance une balle élastique sur un mur. Lorsqu'elle a frappé le mur, elle revient vers le bras qui l'a lancée, non pas parce que ce bras l'attire, mais parce que le mouvement qui l'animait change de direction par le choc sur le mur; on ne dira jamais qu'il y a attraction entre le bras et la balle, et cependant ce qui se passe ressemble à une attraction.

Il en est de même pour la pesanteur, c'est un mouvement dans une direction donnée, qui, comme on peut le remarquer, agit dans un sens opposé à celui de la chaleur. La chaleur fait monter les corps comme la fumée, les vapeurs, etc., et les éloigne de la terre, tandis que la pesanteur fait descendre tous ceux qui ne sont pas soutenus par un mouvement calorifique; ces deux forces agissent comme une action dans un sens et une réaction dans l'autre sens, et si l'on se rappelle que le globe pour se solidifier a dû non-seulement perdre par le rayonnement beaucoup de sa chaleur en traversant les espaces

interplanétaires où règne un froid de 130 degrés, mais encore subir par suite une pression, plus ou moins considérable, on peut supposer que la pesanteur est aussi le résultat d'une pression quelconque qui agit sur les molécules terrestres dans un sens opposé à la direction du mouvement calorifique. Mais nous ne pouvons nous étendre sur les différentes explications proposées à ce sujet; d'ailleurs la science n'est pas encore fixée sur ce point; et il vaut mieux rester dans le doute que de forger des hypothèses plus ou moins hasardées.

Chute des corps. — Lorsque les corps tombent par l'action de la pesanteur, leur mouvement s'accélère de plus en plus, parce que la pesanteur continue d'agir à chaque instant. La vitesse que ces corps acquièrent ainsi augmente en proportion du nombre de secondes qui s'est écoulé depuis le commencement de leur chute. Si pendant la première seconde, ces corps ont une vitesse d'un mètre, dans la deuxième seconde, ils auront une vitesse d'un mètre plus un mètre ou deux mètres; dans la troisième un mètre plus deux mètres ou trois mètres, etc.

Quant aux espaces que le corps parcourt pendant sa chute, ils croissent plus rapidement, car ils sont égaux au carré des nombres qui représentent les secondes employées par le corps à tomber. Or, le carré d'un nombre c'est ce nombre multiplié par lui-même; c'est-à-dire qu'un corps qui tombe pendant une seconde fera, par exemple, un chemin représenté par 1 ou 1 mètre; pen-

dant 2 secondes, un chemin représenté par 2 multiplié par 2 ou 4, et ainsi de suite, selon les carrés des nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, qui sont 1, 4, 9, 16, 25, 36. Ces derniers représenteront donc les chemins ou les espaces parcourus.

Intensité de la pesanteur. — Quel chemin fait en une seconde sous l'impulsion de la pesanteur un corps quelconque, lourd ou léger, qui tombe dans le vide vers la terre? A Paris, l'espace que parcourent tous les corps, pendant une seconde de chute, est de 4^m,9044 et l'intensité de la pesanteur est double ou de 9^m8088, car la vitesse des corps, après la première seconde, est double de l'espace parcouru pendant cette seconde. Comme la pesanteur agit continuellement sur les corps, elle accélère à chaque instant leur mouvement, absolument comme lorsque l'on pousse un cerceau, puis qu'on lui applique un nouveau choc qui lui communique une nouvelle vitesse. Par conséquent si, pendant la première seconde, un corps parcourt un mètre, pendant la deuxième, il parcourra encore un mètre ou le double, par suite de sa vitesse acquise; puis la force accélératrice de la pesanteur agissant comme pendant la première seconde, c'est-à-dire avec une autre vitesse de un mètre, on aura, à la fin de la deuxième seconde, une vitesse de trois fois un mètre; et l'espace entier parcouru pendant les deux premières secondes sera de quatre mètres.

En nous reportant à la loi de la chute des corps, nous pouvons continuer facilement ce

calcul sur 4^m,9 qui est l'espace parcouru en une seconde.

Pendule. — Lorsqu'on suspend un corps solide et pesant à l'extrémité d'un fil ou d'une lame résistante, et qu'on met l'un et l'autre en mouvement, on voit qu'ils tendent à revenir à la position verticale, où ils sont en équilibre, c'est-à-dire où ils ne penchent ni d'un côté ni de l'autre; ils exécutent un certain nombre de mouvements de va-et-vient ou d'oscillations de plus en plus courtes, avant de reprendre leur position stable.

Voici la raison de ces oscillations, qui se produisent toujours quelle que soit la vitesse que l'on imprime au pendule. Lorsque celui-ci reçoit une impulsion, il obéit à cette impulsion, se dérange de sa position verticale et est soustrait à l'action de la pesanteur qui le retenait dans cette direction. Selon la vitesse qu'il a reçue, il monte et fait une demi-oscillation; mais la pesanteur ne cesse pas d'agir pendant ce temps, et au moment où son action est plus puissante que celle de la vitesse acquise par le pendule, celui-ci reprend sa direction vers la terre, comme s'il était repoussé vers elle; mais dans ce mouvement il reçoit de cette force de pesanteur une nouvelle vitesse qui le fait dépasser la ligne où il est en équilibre vertical, et il remonte encore en sens opposé. C'est toujours un fait analogue à celui du choc d'une balle contre *un mur*. Seulement, le mouvement donné au pendule se complique de l'action de la pesanteur, et la balle étant suspendue à

un pivot n'est pas dans les mêmes conditions qu'une balle lancée dans l'air.

Si la résistance de l'air et le frottement du fil et de la tige contre son support n'arrêtaient pas peu à peu le mouvement, celui-ci devrait toujours continuer à osciller en vertu de l'inertie de la matière.

Oscillations du pendule. — La grandeur ou l'amplitude des oscillations du pendule influe généralement sur leur durée. Mais tant que cette grandeur ne dépasse pas 5 degrés, les oscillations ont toutes la même durée; on les dit alors *isochrones*.

La longueur du pendule qui bat a seconde varie suivant les lieux, parce que l'intensité de la force, appelée pesanteur, quitte et met en mouvement, décroît depuis les pôles jusqu'à l'équateur; à l'équateur cette longueur est de..... 0^m,991,033;
à Paris, elle est de..... 0^m,993,866;
au pôle, elle est de..... 0^m,996,671;

Du reste, la durée des oscillations est indépendante du poids de la boule et de la nature de la substance du pendule.

Trois pendules, dont les longueurs sont représentées par 1, 4, 9, font des durées d'oscillation égales à 1, 2, 3 : celui dont la longueur est 1 fait deux oscillations quand celui dont la longueur est 4 en fait une, il en fait trois quand celui dont la longueur est 9 en fait une.

Ces lois ne changent pas avec l'intensité de la pesanteur, mais la durée absolue de l'oscillation change; lorsque cette intensité

double, les oscillations sont naturellement plus rapides.

Pendules compensateurs. — S'il n'y avait pas de frottement au point de suspension du pendule, ni de résistance de l'air, le pendule ne s'arrêterait pas. Mais non-seulement on ne peut supprimer ces obstacles au mouvement, mais encore il est différentes causes qui, comme la chaleur, font varier la longueur du pendule, c'est à-dire la distance qu'il y a entre son axe de suspension et son axe d'oscillation. Cette variation modifie la durée des oscillations, et par suite l'emploi de ce pendule dans les horloges serait une cause d'erreur. Il faut donc compenser la dilatation que subit la tige du pendule, en composant cette tige de substances qui se dilatent inégalement à une même température. Les dilatations des unes pourront alors être corrigées par les dilatations ou les non-dilatations des autres. (Voy. *Dilatation.*)

Pour arriver à ce résultat on a longtemps construit des pendules à gril, où deux des châssis du gril étaient en acier et deux autres en cuivre. Ces châssis par leurs dilatations contraires maintenaient toujours la lentille du pendule à une distance égale de son centre d'oscillation ou de suspension.

On a beaucoup simplifié les moyens de compensation du pendule. On emploie souvent, par exemple, des lames formées de deux métaux inégalement dilatables, fer et cuivre, appelées lames compensatrices. D'autres pendules d'acier et de zinc ont la forme de lignes brisées.

On a remplacé aussi le pendule à gril, qui éprouve de nombreux frottements, par un pendule à mercure. Le liquide est divisé dans un faisceau de tubes parallèles; sa dilatation relève le centre d'oscillation lorsque l'allongement de la tige l'abaisse, et elle favorise le mouvement contraire quand la tige ne s'allonge pas.

Mesure du temps.— L'homme manque d'un sens pour apprécier le temps qui s'écoule avec rapidité; il n'a que son cerveau, qui, selon qu'il s'occupe ou qu'il est oisif, lui fait paraître la vie courte ou longue. Mais ce sens qui lui manque, il peut l'acquérir par son industrie, de même que, privé du sens naturel de l'ouïe ou de la vue, il cherche à remplacer ces organes.

Or, c'est des forces mêmes de la nature qu'il se sert pour se rendre compte des mouvements, de leur vitesse et de leurs rapports entre eux; il les compare les uns aux autres comme il l'a fait pour la grandeur des objets. Pendant longtemps, en effet, on a d'abord mesuré les corps par des grandeurs sinon très-exactes, au moins à peu près constantes, telles que le pied et la coudée ou la longueur du bras jusqu'au coude.

Nous avons perfectionné et rendu plus précises ces mesures, en mesurant la terre elle-même et en y rapportant toutes nos mesures. Quant au temps, les sauvages ne le mesurent que par des approximations ou par de longues époques, comme le lever, le coucher du soleil, le midi, les saisons, celle des fleurs, des fruits, le retour du soleil ou de la

lune à tel et tel endroit. Le progrès a été de diviser ces mouvements du soleil et de la lune en parties très-petites, mais très-sensibles pour nous, heures, minutes, secondes, toujours égales et toujours uniformes.

C'est à l'aide du pendule qu'on a pu obtenir ce résultat. On a pris la durée de chaque oscillation qu'il exécute pour la base de l'appréciation du temps; la seconde, qui est l'intervalle que met le pendule à produire une oscillation, a servi à composer la minute, qui contient 60 secondes, puis l'heure, qui contient 60 minutes, etc.

Aujourd'hui, le pendule sert de régulateur dans les horloges, etc.

Fil à plomb. — Niveau des mers. — Le fil à plomb qui sert à déterminer les verticales ne prend pas toujours la même direction, dans un même endroit où on l'observe, bien que ces variations soient bien petites. Le soleil et la lune, par suite de leur mouvement, exercent des attractions sur les corps placés à la surface de la terre, comme sur la terre elle-même; le fil à plomb est donc soumis à leur action, et il en reçoit une direction différente de celle qu'il prendrait si cette force n'agissait pas sur lui. Et comme les deux astres changent constamment de position dans une journée, à l'égard du fil à plomb, étant tantôt à gauche, tantôt à droite, tous les deux ou chacun d'un côté, ces variations sont périodiques. Elles sont difficiles à constater, autant que celles que subissent par la même cause la surface des eaux, suriace qui est toujours perpendiculaire au fil à plomb et qui

doit varier avec lui. Mais sur les grandes surfaces, comme les mers, ces déviations sont bien sensibles ; les mouvements oscillatoires qui constituent les marées permettent de les constater ; dans l'espace de 25 heures environ, on voit la mer, près des côtes, s'élever et s'abaisser deux fois. Ces changements d'inclinaison, appelés le flux et le reflux, produisent, par suite de l'action du soleil et de la lune, les grandes marées, lorsqu'aux époques de pleine et de nouvelle lune l'action des deux astres, soleil et lune, est simultanée. Dans les premier et dernier quartiers, les marées sont moins fortes parce que les actions du soleil contrarient celles de la lune.

Centre de gravité. — Lorsqu'on attache avec une corde une pierre, un meuble quelconque que l'on veut élever ou transporter d'un lieu dans un autre, on reconnaît expérimentalement qu'il faut placer cette corde soit au milieu du corps, soit de manière que chaque partie de l'objet à droite et à gauche de la corde se fasse équilibre afin que la pierre ou le meuble ne penche et ne tombe ni d'un côté ni de l'autre. La ligne que décrit ainsi la corde autour du corps passe toujours par le *centre de gravité* du corps, c'est-à-dire par le point où convergent toutes les actions de la pesanteur sur le corps. Ce point, lorsqu'il est connu, peut donc suffire à soutenir un corps. On le détermine en suspendant le corps dans deux positions différentes, avec une corde ; le point où la corde dans sa première position coupe la corde dans sa deuxième position, est le centre de gravité, et il suffirait

de donner un appui à celui-ci pour que le corps reste en équilibre.

Ce centre de gravité n'est pas toujours le milieu d'un corps; on peut s'en assurer en prenant une canne à pomme de métal lourd. On verra que le point où la canne est en équilibre est beaucoup plus rapproché de la pomme, parce que, sous un volume moindre, celle-ci contient une somme de matière plus considérable; le milieu de la canne est au contraire beaucoup plus bas, plus loin de la pomme que son centre de gravité.

Pour qu'un homme soit bien ferme sur ses pieds, il faut que la base sur laquelle il s'appuie, c'est-à-dire ses pieds, soit grande; plus elle est étendue, plus il est solide, et plus il peut, sans crainte de tomber, se pencher d'un côté ou de l'autre, parce que la ligne qui part de son centre de gravité reste toujours dans l'intérieur de la base formée par ses pieds; si ce centre sortait de cet intérieur, l'homme tomberait. Aussi, les lutteurs et les boxeurs ont-ils bien soin d'écartier suffisamment leurs jambes, afin d'avoir une base plus étendue et plus solide, et de pouvoir déplacer sans crainte de chute leur centre de gravité dans les mouvements en sens contraires que le pugilat rend nécessaires. Les enfants, au contraire, tombent facilement, parce que leur base n'est ni étendue ni ferme.

En Italie, les tours penchées de Pise et de Bologne se maintiennent depuis des siècles dans une position oblique sans tomber sur la terre, parce que la ligne qui part de leur

centre de gravité passe toujours dans l'intérieur et non hors de la base de ces monuments; elles tomberaient au contraire si ce centre de gravité était en dehors de la base, et si, par suite, elles n'étaient plus en équilibre.

MOUVEMENT.

Lorsque je pousse une bille ronde sur une table plane, cette bille continue à se mouvoir pendant un certain temps, puis elle perd peu à peu de sa vitesse et finit par s'arrêter entièrement. Pourquoi s'arrête-t-elle et ne continue-t-elle pas indéfiniment à se mouvoir? Parce qu'elle rencontre des obstacles tels que : 1^o le frottement de la table, qui absorbe à chaque instant un peu de la vitesse de la bille; 2^o la résistance de l'air qui, pour être vaincue, exige un effort, une dépense de force de la part de la bille, tout comme de notre corps et de notre bras lorsque nous marchons contre le vent. La résistance, en effet, ne vient pas seulement de l'air en mouvement, mais elle naît aussi lorsque c'est le corps qui est en mouvement et l'air qui est tranquille; car alors le corps, pour pouvoir se remuer, doit communiquer du mouvement à l'air.

Si tous ces obstacles étaient supprimés, notre bille, quelle que fût la force d'impulsion que nous lui ayons communiquée, continuerait toujours à rouler. De même que, lorsqu'elle est en repos, elle ne se met pas d'elle-même en mouvement et a besoin qu'une

force extérieure l'ébranle, de même lorsqu'elle est en mouvement elle n'a rien en elle qui puisse faire cesser son mouvement; il faut que ce soit une cause extérieure qui l'arrête. Elle ira plus ou moins vite, selon l'intensité de notre impulsion, mais elle roulera toujours.

Si au lieu de rencontrer la terre, une bille, en tombant du haut d'une montagne, rencontre un espace vide, ou seulement rempli d'air, elle poursuivrait sa route sans s'arrêter, et en supposant que la terre n'existât pas, que la pesanteur fut supprimée, et notre atmosphère anéantie, elle roulerait toujours dans l'espace sans terme et sans limite. Cette faculté de rester en repos lorsqu'ils sont en repos, et en mouvement lorsqu'ils sont en mouvement, abstraction faite des causes qui les mettent en mouvement dans le premier cas, et de celles qui les arrêtent dans le second, est la faculté qu'on appelle l'*inertie* de la matière, c'est-à-dire l'*impuissance* à se mettre soi-même en mouvement.

Transmission du mouvement. — Les atomes d'éther qui existent entre les molécules des corps peuvent être assimilés à de petits ressorts qui, sous l'influence des mouvements ou des forces attractives et répulsives, s'opposent au rapprochement des molécules aussi bien qu'à leur écartement. Ils servent de lien, de trait d'union, de chemin de communication entre les molécules, et c'est par eux que l'action d'une force extérieure qui agit sur un seul point du corps est cependant transmise à toute la masse.

La transmission du mouvement à l'aide de ces espèces de petits chemins de fer est sans doute très-rapide, mais elle ne peut cependant jamais être instantanée, pas plus dans les corps solides ou liquides, que dans les gaz. Il n'est donc pas possible de faire passer instantanément un corps de l'état de repos à celui d'un mouvement dans un certain sens, ni d'arrêter ou de dévier sur le moment même, le mouvement qu'un corps possède déjà.

Ainsi, lorsqu'on transporte un liquide dans un vase sur une voiture ou une brouette, quand le mouvement commence, le liquide se déverse dans un sens opposé au mouvement, parce qu'une partie de la masse liquide est encore en repos, lorsque déjà la voiture se meut. Le mouvement n'a pas encore été communiqué aux molécules, et comme la force de cohésion entre les parties liquides est très-faible, il y en a qui peuvent rester en arrière, en repos et se séparer de celles qui sont déjà en mouvement. Au contraire, lorsque le mouvement de la brouette s'arrête, le liquide se déverse en avant dans le sens du mouvement, parce qu'une partie de la masse se sépare et tend encore à se porter en avant quand la voiture a cessé de marcher.

Il en est de même dans les solides. S'ils sont frappés par une force tellement intense que les ressorts moléculaires n'aient ni la force ni le temps de résister et de transmettre le mouvement aux particules voisines, la partie qui recevra l'impulsion sera arrachée. C'est pour cela que, tandis qu'une balle de

fusil lancée avec le bras contre un carreau de verre brise ce carreau en plusieurs endroits, la même balle, lancée avec une vitesse de 4 à 500 mètres par seconde par un fusil, perçera le verre d'un trou rond et net, sans que le reste de la vitre soit ni secoué ni brisé.

Il se passe quelque chose d'analogue lorsque l'on frappe par derrière le bois d'une varlope pour en faire sortir le ciseau. Le bois reçoit un mouvement brusque, qui ne se transmet pas ou très-imparfaitement au ciseau et à son coin, qui par suite se trouvent séparés du bois.

Aussi, pour emmancher un marteau, une hache ou tout autre outil, faut-il frapper non sur le fer, mais bien sur la queue du manche en bois, dans le sens de la longueur. On lui imprime ainsi un mouvement, tandis que la masse de fer du marteau résiste à ce mouvement et ne suit pas le bois dans son mouvement en avant.

On opère de même lorsqu'on frappe fortement sur les douves d'un tonneau pour en faire sortir la bonde; il se passe une forte réaction qui sépare la bonde de la douve mieux que ne l'aurait fait une traction directe.

C'est pour cela que les clous et tous les objets qui servent à assembler les diverses parties des corps sont arrachés de ces corps par suite des chocs, des secousses et des mouvements de tout genre.

Mouvements acquis. — Chocs des wagons, freins. — Non-seulement les corps en repos restent en repos, mais les corps en mou-

ment tendent à continuer leur mouvement. Aussi quand un wagon, une voiture, un bateau sont subitement arrêtés, soit par un choc, soit par un autre obstacle, les voyageurs, comme tous les autres objets, tendent à conserver le mouvement qu'ils ont acquis; aussi sont-ils précipités dans le sens de leur précédent mouvement, et il en résulte des chocs, des chutes, des heurts et souvent des malheurs véritablement déplorables.

On ne peut, hélas! que bien peu de chose pour remédier à ces conséquences fatales de tout mouvement accéléré. Il est, en effet, à peu près impossible d'arrêter de suite un mouvement rapide, surtout lorsqu'il est, comme dans les chemins de fer, acquis non par une seule voiture, mais par un grand nombre de wagons. Les freins ou les poids destinés à offrir une grande résistance à la traction et à arrêter le mouvement des roues et à faire dévier la vitesse acquise des wagons, n'agissent toujours qu'avec une faible intensité; et l'on ne peut, dans les voyages ordinaires, charger les convois de poids considérables qui retarderaient la vitesse de marche. Dans tous les cas, quand même les freins agiraient parfaitement sur les voitures, on n'empêchera jamais les voyageurs de participer aux mouvements du véhicule, et de se briser les jambes ou la tête contre les parois du wagon, en vertu de la vitesse acquise. C'est ici la prudence ou la prévoyance des conducteurs qui, plus que la science, peuvent empêcher d'affreux malheurs.

Art de descendre d'une voiture en mouve-

ment. — Quand on descend d'une voiture pendant qu'elle marche encore, on tombe presque toujours dans la direction de la voiture comme si on faisait un faux-pas; c'est que le corps conserve, en quittant la voiture, le mouvement qu'elle-même possédait; quand les pieds touchent la terre, le sol en résistant détruit le mouvement acquis par ceux-ci, mais par ceux-ci seuls. Le reste du corps conserve et continue son mouvement, de là la chute. Il faut donc avoir soin de se lancer d'abord dans le sens du mouvement de la voiture, comme si on allait courir avec elle, et surtout de tâcher de ne poser qu'un pied à terre, de manière que la destruction du mouvement primitif ne soit que partielle, et que lorsque le reste du corps sera entraîné par son ancien mouvement, on trouve de suite un point d'appui dans la jambe qui n'a pas encore touché la terre. Tel est l'art de descendre d'une voiture en mouvement.

Transmission du mouvement. — *Nausécs.* — Si les molécules n'étaient pas placées à côté les unes des autres sans se toucher, dès qu'une force en mettrait une en mouvement, toutes se mettraient en mouvement instantanément. Les molécules sont pour ainsi dire comme les wagons des convois de chemin de fer, réunis entre eux par des chaînes aboutissant à des ressorts. Lorsque la locomotive entraîne le premier wagon, la chaîne fait fléchir le ressort qui maintenait le deuxième wagon en contact avec le premier, et le force à marcher, et ainsi de suite; mais lorsque tous les wagons sont en mou-

vement, les ressorts de jonction reprennent leur forme primitive, leur fléchissement disparaît et tous les wagons se remettent en contact les uns avec les autres, ne formant pour ainsi dire qu'un grand corps solide en mouvement.

Les ressorts jouent ici le rôle des molécules dans les interstices des corps.

C'est ainsi, par des transmissions successives de mouvement, qu'on peut expliquer les nausées que quelques personnes éprouvent en voiture ou sur mer.

Si les mouvements des bateaux ou des voitures étaient réguliers, uniformes, on ne les sentirait pas, parce qu'on participerait soi-même à ce mouvement. C'est l'irrégularité des mouvements, leur transmission successive qui causent ces effets désagréables. Quant aux personnes qui ne peuvent aller en arrière dans les voitures, wagons, sans éprouver des nausées, elles ne doivent pas ces accidents aux mouvements de la voiture qui, dans un sens ou dans l'autre, sont exactement les mêmes. Mais c'est la vue des objets extérieurs qui se déplacent pour nous, dans un sens où nous n'avons pas l'habitude de les voir, qui cause l'espèce d'étourdissement et les nausées qu'on éprouve dans ce cas. En effet, il suffit de se soustraire à la vue des objets extérieurs pour faire disparaître cet étourdissement, et quelquefois nous avons vu des personnes fort sensibles à cette manière de voyager en arrière, ne plus se douter, lorsque tout était fermé autour d'elles, du sens dans lequel marchait la voiture ou le wagon qui les portait.

Mal de mer. — Mais il est des mouvements, des balancements successifs, comme ceux que la mer transmet aux navires qui, par leur irrégularité, provoquent réellement des nausées. Tous les organes, toutes les parties du corps sont balancés; des forces centrifuges s'y développent; les organes se pressent les uns sur les autres dans tous les sens; il en résulte des dilatations et des contractions successives ayant lieu en sens opposés, qui sont la véritable cause du mal de mer.

Vitesse acquise. — *Moutons.* — La vitesse acquise par un corps qui tombe de très-haut peut devenir très-grande, et quoique la masse et le poids du corps n'aient pas augmenté; cependant, sa chute, par exemple, sur les hommes et les animaux peut causer des blessures ou la mort. Un objet qui, porté sur notre dos, nous semble à peine pesant, pourrait nous écraser si, tombant d'une hauteur de 12,000 à 13,000 mètres, il acquérait une vitesse de 500 mètres par seconde, ce qui est la vitesse qu'un boulet éprouve à sa sortie du canon.

On peut, du reste, utiliser la force acquise ainsi, soit comme moteur, soit comme instrument de choc. On voit souvent suspendues à de grands échafaudages, des masses de bois, ou *moutons*, qu'on laisse retomber d'une grande hauteur sur les pieux qu'il s'agit d'enfoncer en terre; les grands marteaux de forges sont encore une application du même genre.

Lorsque nous descendons en courant un chemin d'une pente très-prononcée, un effet

à peu près analogue se produit. A mesure que la course se prolonge, la vitesse acquise croît constamment, et il arrive un moment où nous ne pouvons ni nous arrêter ni nous retenir; on finit même quelquefois par faire des chutes dangereuses. C'est le résultat de l'accélération du mouvement produit par la pesanteur.

Force centrifuge. — Terre. — Si les forces et les mouvements qui entraînent la terre cessaient tout à coup d'agir, celle-ci continuerait sa route en ligne droite en raison de la vitesse qu'elle posséderait et de son inertie. Mais il y a toujours une autre force qui dérange cette tendance rectiligne et qui fait mouvoir la terre en ligne courbe; cette force est dirigée vers le centre du soleil, qui semble attirer la terre. La terre, sous cette influence, devrait tomber sur le soleil comme tombent les pierres sur le sol; mais sa vitesse antérieure l'en empêche. En effet, cette vitesse est assez grande pour que la courbe qu'elle fait décrire à la terre soit une ligne circulaire ou à peu près autour du soleil. Si cette vitesse était plus petite, la terre tomberait évidemment sur le soleil comme le boulet lancé par un canon tombe sur la terre. Mais ce boulet lui-même, s'il avait, par exemple, une vitesse d'à peu près 8,000 mètres par seconde, pourrait se mouvoir horizontalement sans tomber sur la terre, comme une sorte de satellite de celle-ci parce qu'alors la courbe qu'il décrirait ne serait pas plus courbe que celle décrite par la terre, et par conséquent elle lui serait en quelque sorte parallèle.

Aujourd'hui, cette courbe étant plus courbée et la terre allant plus vite que le boulet, celui-ci rencontre de suite le sol et s'y arrête.

Essoreuses. — La force ou le mouvement centrifuge, qui paraît jouer un si grand rôle dans la nature, n'est pas moins utile à l'industrie. Elle a principalement été employée à sécher promptement le linge et tous les tissus dans les lavoirs publics, buanderies, etc. Les *essoreuses*, machines construites pour cet usage, consistent en une grande caisse ou tambour percé d'une grande quantité de petits trous et destinée à recevoir le linge. L'intérieur de cette caisse est divisé en trois parties par une cloison cylindrique, formant un seul compartiment central destiné à rester vide, et deux autres compartiments, de chaque côté du premier, pour recevoir le linge qui souffrirait s'il était trop près de l'axe du tambour.

On fait tourner le cylindre avec une vitesse de 1,500 tours à la minute, et l'on développe ainsi dans chaque partie du linge et de l'eau qu'il renferme une tendance à s'échapper ou force centrifuge qui presse fortement le linge contre la paroi extérieure, tandis que l'eau s'échappe par les petits trous percés dans cette paroi. Il suffit de 10 à 15 minutes d'une semblable rotation pour que le linge soit débarrassé de toute son eau et presque complètement séché. Étendu à l'air quelques instants ensuite, il devient tout à fait sec.

Dans tous les jeux, courses ou autres, où l'on tourne rapidement, on éprouve l'action de cette force centrifuge qui tend à nous

jeter hors du cercle de rotation ; les écuyers qui tournent autour d'un manège avec une grande vitesse sont obligés de pencher leur corps vers le centre du manège, d'autant plus que leurs chevaux courent plus vite, afin de contrebalancer l'effet de la force centrifuge ; tous les jeux où l'on tourne rapidement, jeux de bagues et autres, exigent aussi de notre part des efforts pour résister à cet entraînement.

Mouvements constants.—Lorsque les mouvements qu'accomplit un corps sont constants, ce corps prend une forme en rapport avec ce mouvement, avec sa direction, et selon sa vitesse. Ainsi la terre, qui est composée d'une partie solide et d'une partie liquide, aurait, si elle était tout entière liquide, la forme d'une sphère, comme les gouttes d'eau ont la forme ronde, forme qui serait en rapport avec le mouvement circulaire de rotation qu'elle accomplit autour de son axe. Mais comme la force centrifuge accumule toutes les molécules de plus en plus vers son milieu, c'est-à-dire vers l'équateur, la terre est renflée à cet endroit et aplatie aux pôles. Cette forme, que garde la terre depuis qu'elle est solidifiée, lui a été donnée à l'époque où, étant encore liquide, elle a modifié sa conformation extérieure sous l'action de la force centrifuge.

Equilibre. — Balances. — Lorsque je mets dans les deux plateaux d'une balance d'un côté 1 kilog., de l'autre côté 2 kilog., le plateau où sont les 2 kilog. penche et l'autre s'élève ; si je mets dans chaque plateau 1

kilog. et 1 kilog., ou 2 kilog. et 2 kilog., aucun des plateaux ne restera élevé ou baissé ; si la balance est juste, les plateaux sont en équilibre, ils restent en repos. Tous les corps en repos sont des corps en équilibre ; une balle au bout d'un fil est en équilibre si la résistance du fil égale l'attraction de la pesanteur ; et si la balle n'est pas mise en mouvement, elle reste en repos dans sa position verticale. Il en est de même d'un petit bâton d'un décimètre, s'il est suspendu exactement au milieu et s'il est d'un poids égal dans toutes ses parties. Il oscille d'abord autour de son centre de gravité et du fil qui le soutient, puis il finit par prendre une position horizontale, s'il est en équilibre, ou verticale s'il n'est pas en équilibre sur son centre.

Il y a donc toujours équilibre quand les forces qui sollicitent un corps dans un sens ou dans l'autre se compensent mutuellement.

On est en équilibre sur un cheval lorsqu'on ne penche ni d'un côté ni de l'autre ; les poissons le sont dans l'eau, les ballons dans l'air. La pression de la pesanteur y est détruite par les pressions particulières qui poussent ces corps dans tous les sens.

Si je mets dans le plateau gauche d'une balance un poids double de celui placé dans le plateau droit, j'ai une force double qui sollicite le plateau gauche à descendre.

De même, si, pour faire marcher un bateau, j'attelle des deux côtés de la rivière deux chevaux de force égale, ou si seulement, sur une table, je lie aux deux coins d'une boîte carrée deux fils d'égale longueur tirés en

même temps, je fais avancer la boîte dans une direction qui est juste intermédiaire entre les deux forces qui la sollicitent; mais si je tire deux fois à gauche, je fais incliner la boîte ou le bateau de ce côté; la direction suivie par le corps tiré est la *résultante* des forces qui sollicitent le bateau ou la boîte. Le courant, le vent et les rames sont souvent des forces qui sollicitent également le bateau.

Cette résultante de forces, agissant angulairement, est toujours égale à la diagonale d'un parallélogramme dont les deux côtés sont égaux à la grandeur de la force qui sollicite le corps. Quand les deux forces sont égales, la résultante divise toujours leur angle en deux parties égales; si elles sont inégales, la résultante sera toujours rapprochée de la plus grande force. Si une force en sens contraire était appliquée à la boîte ou au bateau, le mouvement n'aurait pas lieu, l'équilibre stable ou le repos existerait.

Balances diverses. — La balance romaine permet de se passer de poids. C'est un simple levier, suspendu par une de ses extrémités et supportant un anneau auquel est suspendu un poids connu. Au delà du point de suspension sont placés deux crochets auxquels on attache le corps qu'on veut peser. Le levier est gradué d'avance, de manière que l'on sache, lorsque l'anneau s'arrête à tel ou tel point, qu'il fait équilibre à un poids pesant 5, 10 kil., etc.

C'est une application directe du levier, mais comme elle peut permettre la fraude, sans que le public ait le moyen de s'en aper-

cevoir aisément, l'usage en doit être prohibé dans le commerce.

Le peson sert également à déterminer le poids des corps, sans l'emploi de poids ordinaires ; c'est ainsi qu'est construit le pèse-lettres. Il consiste en un plateau suspendu par un ressort à l'extrémité d'un levier coudé qui peut tourner autour de son axe de suspension. La pointe de ce levier se meut sur un arc de cercle gradué de manière que chaque division de ce cercle corresponde à un poids connu placé sur le plateau. Lorsqu'on met une lettre par exemple sur le plateau, la pointe est plus ou moins abaissée, selon la résistance que la pesanteur de la lettre oppose à la tendance du levier à revenir à la position verticale naturelle.

Les balances de Roberval ou balances anglaises à suspension inférieure, sont plus commodes que les balances à colonnes et à chaînes, bien qu'elles n'aient pas une grande précision ; cependant lorsqu'elles sont bien construites, la position de l'objet à peser dans les bassins n'a pas grande influence sur la pesée. Le levier des balances ordinaires est ici placé sous les plateaux, et deux autres leviers régularisent son action lorsque la charge du bassin fait baisser un des côtés du levier et monter l'autre.

ACOUSTIQUE.

Sons. — Vibrations. — Lorsque nous mettons en mouvement très-rapide dans l'air un corps, une fronde par exemple, ou que

nous nous trouvons placés sur le passage d'un vent très-violent ou d'un courant d'air très-pressé, qui n'a qu'une faible ouverture pour s'échapper, nous entendons un bruit, un sifflement que notre oreille distingue très-bien ; bien d'autres corps rendent, lorsqu'ils sont frottés ou mis en mouvement, des sons également distincts. Si l'on pince la corde d'une harpe ou si l'on met en vibration une corde ordinaire ou un fil de métal, on voit, vers le milieu de la corde, dans le sens de la longueur, un renflement qui lui donne la forme d'un fuseau et qui est produit par la vibration de la corde. En frappant avec une lame métallique un vase de verre, on observe aussi une multitude de petits coups répétés qui indiquent les vibrations ou les allées et venues des molécules des deux corps élastiques qui ont été choqués.

Quand on passe légèrement un doigt imbibé d'eau sur les rebords d'un verre, on y développe aussi de légères vibrations, qui produisent un son fin et agréable, quoique le mouvement ainsi produit ne soit pas très-rapide.

Les sons sont donc le résultat du mouvement et des vibrations soit de l'air, soit des corps sonores, et lorsque nous percevons un son quelconque, nous sommes sûrs qu'il est produit par les mouvements de l'une ou de l'autre de ces substances.

Nous produisons ainsi des sons plus ou moins élevés, selon que nous faisons exécuter plus ou moins de vibrations à l'air ou aux corps dans un temps donné ; ainsi, les enfants

qui ont la voix très-aiguë produisent plus de vibrations que les hommes qui donnent des sons graves et dont les organes de la voix vibrent avec moins de vitesse. Aussi n'est-ce que par des exercices soutenus que ces derniers peuvent acquérir une certaine souplesse dans la voix et produire avec rapidité des sons de toute nature.

Sur un violon ou sur une guitare, le son le plus grave est donné par la corde qui vibre dans toute sa longueur ; mais à mesure qu'on y appuie le doigt et qu'on raccourcit ainsi la partie vibrante, on a des sons plus aigus et des vibrations plus nombreuses. Sur les cordes très-longues, on peut vérifier cette assertion facilement et même compter les vibrations.

Au moyen de roues dentées frappant sur une carte entournant, on a compté dans une seconde jusqu'à 9,000 vibrations. On voit quelle est la rapidité de ces mouvements que l'œil ne peut suivre.

On distingue, du reste, très-bien des sons graves de 7 ou 8 vibrations seulement par seconde et des sons aigus de 43,000 oscillations par seconde. On pourrait sans doute aller encore plus loin, car il n'y a point de limite à la production de ces deux genres de sons ; mais l'oreille humaine ne peut percevoir ces vibrations extrêmes, et des sons qui dépassent ces nombres d'oscillations ne sont plus sensibles que pour des êtres différents de l'homme.

Lorsque plusieurs corps vibrent en même temps et font dans une seconde un nombre

égal de vibrations, quelque différents que soient ces corps, ils donnent le même son et produisent ce qu'on appelle un unisson.

Vibrations de l'air. — Nous n'entendrions aucun de ces bruits si l'air ne nous les communiquait. En effet, il est lui-même mis en mouvement et en vibration par les vibrations des corps sonores ; en effet, dans le vide, par exemple, et en l'absence d'air, on a eu beau, dans des cavités fermées, faire sonner des cloches, on n'a jamais rien entendu. Aussi, si le soleil fait dans sa course à travers l'espace un bruit quelconque, ce qui est probable, nous ne le pouvons entendre, parce qu'il n'y a pas de corps intermédiaire analogue à l'air pour nous en transmettre les vibrations.

Tous les corps nous transmettent de même, mais plus ou moins bien, les sons. Les autres gaz que l'air conduisent bien les mouvements sonores, comme on peut s'en assurer lorsqu'on se trouve près d'un lieu qui dégage un gaz quelconque, acide carbonique ou autre. Les liquides conduisent également les sons ; près d'une rivière, on entend les bruits de pierres choquées au fond de l'eau.

Les solides transmettent aussi les vibrations sonores ; en plaçant l'oreille à l'extrémité, soit d'une table, soit d'une poutre de 10^m, 20^m, 50^m de longueur, on distingue les bruits produits et même les paroles prononcées à l'autre extrémité. De même en appliquant l'oreille sur la terre, on s'aperçoit que celle-ci conduit très-bien les sons ; on entend par ce moyen de très-loin le bruit

des pas, le galop des chevaux, le roulement des canons, que souvent on n'entendrait pas si l'air seul en transmettait les vibrations.

Le son est d'autant plus intense que les vibrations ont plus d'amplitude (ou de largeur et d'étendue). Ainsi, la grandeur des vibrations d'une corde est toujours plus considérable au moment où on la pince, et lorsque cette grandeur diminue, le son qu'elle rend s'affaiblit.

Timbre. — Il y a cependant entre ces sons une différence qui tient à la nature du corps qui les produit; le son qu'on tire d'un instrument en cuivre ou en bois, ou même de deux instruments en bois plus ou moins semblables, celui que donnent les voix humaines diffèrent encore par leur *timbre*, c'est-à-dire par la manière dont ces corps sont mis en vibration (par la gorge, un archet, un choc), quoique le son puisse avoir toujours la même acuité et la même intensité. La nature des corps qui propagent le son influe aussi sur le *timbre*.

Le bruit, c'est le son irrégulier ou confus, dont on ne peut prendre l'unisson; le son musical au contraire a des vibrations régulières, continues et identiques, qui ont lieu dans des temps et à des intervalles égaux.

Vitesse. — Dans l'air, le son, c'est-à-dire les ondulations sonores, a une vitesse à 6° de 337^m,18 dans une seconde; à 16°, elles vont plus vite et font 340^m,89 (1 m. par 3 degrés et plus); à 0°, elles font 333^m; à 30°, par un temps d'orage, 345^m.

Ainsi, lorsqu'on voit, soit la fumée d'un coup de canon, soit l'éclair de l'électricité

atmosphérique, on peut, si le temps est calme, calculer à peu près la distance où l'on est de ces explosions en comptant les secondes qui s'écoulent entre le moment où l'on voit la lueur et celui où l'on entend le son.

Que le temps soit serein, ou bien qu'il soit couvert, il paraît que la vitesse de transmission du son est indépendante de la pression atmosphérique, car cette vitesse est la même dans ces différentes conditions.

Les sons faibles, les sons forts, les sons graves, les sons aigus, se propagent avec la même vitesse (quoique leur intensité diffère). S'il n'en était pas ainsi, en écoutant la musique, on remarquerait que les notes aiguës arriveraient toujours avant les graves, bien qu'elles soient souvent produites après celles-ci. Si on entend mieux les premières que les secondes, c'est non pas à leur différence de vitesse de propagation qu'elles le doivent, mais à leur différence d'acuité.

Dans l'eau, la vitesse du son est 4 fois aussi grande que dans l'air; elle est de 1435 m. par seconde, et plus la densité et la compacité des corps augmente, plus cette vitesse se propage facilement. Dans l'argent, elle est 9 fois celle de l'air, 2997 m.; dans le cuivre, 11 fois plus ou 3666 m.; dans le fer, l'acier, le verre, 17 fois ou 5610 m., et dans les différents bois elle varie de 11 à 17 (3600 à 5600^m par seconde).

Cette vitesse est, du reste, toujours égale dans un même corps, quelle que soit l'intensité des impulsions ou des vibrations sonores.

Cette vitesse se communique peu à peu, de

couches en couches, par des ondes sonores analogues aux ondes que forme dans l'eau tout corps qui y est mis en mouvement. Ces ondes s'étendent dans l'air, avec un mouvement uniforme et une vite-se constante, chaque molécule d'air choquant une molécule de masse égale, et ne perdant point de sa force par ce choc, mais transmettant le mouvement en avant sans que son intensité diminue.

Il faut familiariser notre esprit avec ce mode de propagation du mouvement, afin de comprendre plus tard les mouvements de l'éther, de la lumière et des fluides.

Lès couches d'air ont toutes une puissance de translation égale, et de plus elles sont plus ou moins comprimées, car elles ne peuvent être poussées en avant sans subir une compression plus ou moins forte, qui est en proportion de leur vitesse de translation. La première onde est évidemment la plus condensée; mais on comprend aussi que le mouvement crée des ondes dilatées dont la dilatation égale la compression de la couche correspondante condensée qui la produit; ces deux ondes ont alors des vitesses égales et contraires. Chaque vibration d'un corps vibrant produit ainsi une onde condensée et une onde dilatée, qui cheminent à la suite les unes des autres sans modifications ni dans leur longueur ni dans leurs compressions relatives, ni dans leur vitesse de translation.

Aussi dans les tubes fermés comme les tuyaux de conduite des eaux de Paris, la voix ne perd pas son intensité, même à une grande

distance, à 900 ou 1,000 mètres par exemple ; et les sinuosités de ces tuyaux sont sans influence sur le son.

Lorsque les angles des murs d'une salle se continuent sur la voûte de cette salle, ainsi que cela a lieu sous les arches des ponts, on peut faire des conversations à voix basse, d'un coin à l'autre, sans que les personnes placées entre ces coins puissent entendre, parce que les ondes sonores suivent les parois des murs solides. Une salle dite des échos, au Conservatoire de Paris, présente ce phénomène d'une manière très-marquée. On peut le reproduire du reste dans tous les tubes cylindriques, les gouttières, etc.

Porte-voix. — C'est un fait du même genre qui se passe dans le *porte-voix*. Celui-ci est un tube de fer-blanc conique, de 1 ou 2 mètres de long, évasé à son extrémité la plus large. Les ondes sonores sont réfléchies sur les parois, qui empêchent leur divergence. On place les lèvres du côté le plus étroit, et plus le tube est long, et plus la partie évasée est grande, plus on entend au loin les paroles prononcées.

Le *cornet acoustique* pour les demi-sourds est en quelque sorte l'inverse du *porte-voix* : c'est un tube conique recourbé au milieu, mais où l'on parle par le pavillon ou par la partie évasée, tandis qu'on place la plus petite ouverture dans le creux de l'oreille ; les ondes se reflètent et se condensent au lieu de s'éparpiller, et arrivent plus pressées pour frapper l'oreille.

Échos. — Dans l'air et lorsqu'il n'y a pas

d'obstacle, le son se propage en ligne droite. S'il rencontre un obstacle, un mur, il fait comme les balles élastiques; en vertu de son élasticité, l'air en mouvement rebondit, ou mieux il se réfléchit, et l'angle que ce mouvement fait en revenant sur lui-même est égal à celui qu'il a fait avant de frapper le mur; si c'est un angle d'une ouverture de 45° , il rebondit dans la direction d'angle faisant avec le mur 45° .

Cette réflexion des sons s'observe sur les rochers, les murs, les voiles des vaisseaux, les surfaces liquides, les voûtes et toutes les surfaces courbes ou concaves, et les nuages; c'est elle qui produit les échos.

Il est difficile de distinguer et même de prononcer distinctement 10 syllabes par seconde. Il faut donc au moins un intervalle de $1/10^e$ de seconde entre 2 syllabes qui se suivent; car on ne perçoit le son réfléchi que s'il s'écoule $1/10^e$ de seconde entre l'instant où on a parlé et celui où la réflexion rapporte le son à l'oreille. Or, comme le son met le même temps pour aller que pour revenir, il faut donc que le temps de l'allée soit la moitié de $1/10^e$ de seconde, c'est-à-dire $1/20^e$: la distance où il faut se placer de la surface réfléchissante doit donc être du 20^e de 340 mètres, espace que parcourt le son en 1 seconde, soit 17 mètres.

Si donc on se place à 17 mètres d'une surface réfléchissante et qu'on prononce une syllabe *fa*, on l'entend revenir après $1/10^e$ de seconde; si on prononce 2 syllabes *fa, si*, la 1^re revient par réflexion pendant qu'on émet

la 2^e; on n'entend donc pas la 1^{re}, mais seulement la réflexion de la 2^e, *si*; on dit alors que l'écho est monosyllabique. Si on se place à 2 fois 17 mètres ou 34 mètres, on entendra par réflexion les 2 dernières syllabes prononcées, et ainsi de suite, toujours et autant de syllabes que la distance du parleur à la surface contiendra de fois 17 mètres. On entend, du reste, plus ou moins de syllabes selon qu'on les prononce lentement ou vite.

Les échos multiples sont produits par des réflexions successives sur des murs ou surfaces parallèles. Près de Verdun, 2 tours parallèles, distantes de 50 mètres, répètent 12 et 13 fois la même syllabe. L'écho du château de Simonetta, en Italie, redit 43 fois le même son.

Résonnance. — Lorsque l'on parle dans une salle sonore, la voix *résonne*, c'est-à-dire que les sons réfléchis se confondent avec les sons directs, prolongent ceux-ci, les renforcent, et souvent même incommodent l'orateur par la confusion qui en résulte.

Vibrations des cordes. — Instruments. — Lorsqu'une corde vibre, elle fait deux sortes de vibrations; lorsqu'on la pince, elle fait des vibrations transversales qui ont l'apparence d'une sorte de fuseau plus ou moins renflé; lorsqu'on la frotte, elle en fait d'autres dans le sens de sa longueur.

Mais on remarque, lorsqu'on place un petit support ou chevalet sous la corde en un point situé juste au tiers de sa largeur et qu'on la fait ensuite vibrer, on remarque, disons-nous, que la partie la plus longue, qui comprend

les deux autres tiers, se divise en deux, et qu'au milieu il y a un point que l'on appelle un *nœud*, qui ne vibre pas, et qui est juste situé sur le troisième tiers. Si l'on place de petits ronds de papier sur la corde, tous sont projetés au loin, à l'exception de celui qui se trouve sur ce nœud. Lorsqu'on divise la corde en quatre, cinq, six parties égales, et que le chevalet est placé à l'extrémité de la première partie, on a deux, trois, quatre nœuds de vibrations à égales distances les uns des autres.

Toute corde vibrante se divise ainsi en plusieurs parties; la première moitié, tout en vibrant avec la corde entière, vibre de plus autour d'elle comme si elle était immobile; le premier tiers fait la même chose, le premier quart également. Aussi entend-on toujours outre les sons fondamentaux qui proviennent des vibrations de la corde entière des sons dits *harmoniques* dus à ces vibrations partielles, et qui sont plus aigus, puisque les parties de cordes qui les produisent sont plus petites.

Les violons, guitares, harpes, pianos, sont fondés sur les vibrations des cordes; dans les uns, violons, violoncelles, etc., ce sont les doigts mêmes qui raccourcissent les cordes (lesquelles sont toutes de même longueur, mais d'épaisseurs variées) en se posant sur elles à des distances différentes pour produire les différents sons. Dans les autres, pianos, harpes, etc., les cordes sont tendues de même par des vis, mais leurs longueurs varient et elles sont calculées pour donner les diffé-

rents sons lorsque le marteau que soulèvent les touches du piano les frappera.

Instruments à vent. — Dans ces instruments, c'est l'air lui-même qui produit le son ; toutefois, on n'obtiendrait aucun son si l'on soufflait simplement dans un tuyau quelconque, car on ne ferait pas suffisamment vibrer l'air d'une manière analogue aux cordes, tiges, membranes, etc. Pour faire vibrer l'air, il faut qu'il rencontre un obstacle qui excite des mouvements de condensation et de dilatation propres à produire le son. Les tuyaux à embouchure de flûte reçoivent ainsi l'air par le pied du tuyau ; cet air traverse une lame métallique percée d'une fente très-étroite appelée lumière, puis vient sortir par la bouche du tuyau après s'être brisé sur une surface taillée en biseau, et qu'on appelle lèvres supérieure ; c'est ce que l'on peut voir dans le sifflet, la flûte, le flageolet, et les tuyaux d'orgues, où le son résulte de ce brisement de l'air contre la lèvre supérieure.

Tantôt on emploie des tuyaux ouverts aux deux extrémités, tantôt ouverts d'un seul côté ; les tuyaux fermés complètement donnent un son plus grave, l'octave grave du tuyau ouvert ; il en est de même quand on ferme en partie l'ouverture, lorsque par exemple on met la main dans le pavillon du cor.

La nature des parois des tuyaux, lorsqu'elles sont minces et flexibles, agit sur la gravité ou l'acuité du son ; c'est ce que l'on observe dans les cors et les trompettes.

Instruments à anches. — Les instruments

à anches, comme le hautbois, la clarinette, le cor, diffèrent beaucoup des précédents. On appelle *anche* un petit tuyau de métal, qui est percé dans sa longueur d'une fente ou rigole, laquelle est fermée ou ouverte par une lame élastique de métal, ou *languette*, fixée seulement à la fente par une de ses extrémités, et qui vibre et se soulève lorsque l'air vient la frapper, puis retombe et ferme ensuite la rigole. On fait ces languettes plus étroites que les rigoles, afin d'adoucir le son et d'empêcher les battements; c'est ce qu'on appelle des *anches libres*.

L'air arrive dans ces instruments par un tuyau ou porte-vent, et il frappe et fait vibrer la languette dont on peut diminuer à volonté ou augmenter la portion vibrante à l'aide d'un gros fil de fer, ou *rasette*, qui peut le presser plus ou moins près de son extrémité. La hauteur du son ne dépend alors que de la rapidité des vibrations de la languette.

Dans les cor, trompette, trombone, ce sont les lèvres qui tiennent lieu de languette; dans les basson, hautbois, clarinette, elles tiennent lieu de la rasette. Les orgues expressifs, les harmoniums, accordéons, etc., sont tous des instruments à anches libres, où l'air, amené par des soufflets sur la languette, produit les sons en faisant vibrer celle-ci.

Membranes, tambour.—Les membranes qui, comme la peau des tambours, sont fortement tendues, non-seulement peuvent vibrer lorsqu'on les frappe avec des baguettes, mais encore si, comme la baudruche, elles sont assez flexibles, les vibrations seules de l'air leur

communiquent un mouvement ondulatoire. En les saupoudrant de sable, on voit très-nettement se former des dessins de vibrations; le sable se répartit en lignes sinueuses avec des nœuds qui restent immobiles, tandis que les centres vibrent; les membranes rendent, du reste, un son d'autant plus aigu qu'elles sont plus petites et plus fortement tendues.

Voix. — L'organe producteur des sons se rencontre chez les animaux à poumons, les mammifères, les oiseaux et les reptiles. Chez l'homme, l'air inspiré par les poumons, chassé par la contraction des muscles de l'expiration, passe par un conduit annulaire, la trachée-artère, et lorsque ce passage s'effectue comme à l'ordinaire sans rapidité et librement, aucun son ne se fait entendre. En sortant de ce canal qui se termine par un tube large, court et cartilagineux, le larynx, l'air y rencontre deux grands replis analogues aux deux lèvres d'une boutonnière, appelés cordes vocales, qui peuvent se tendre ou se rapprocher de manière à agrandir ou à rapprocher la fente qu'ils forment. Deux autres replis les surmontent, et l'espace renfermé par ces quatre ligaments constitue la glotte. Ce sont ces replis qui sont essentiels à la formation de la voix, car la destruction des cordes vocales entraîne l'extinction complète des sons.

L'épiglotte est une membrane ovale élastique, destinée à modifier, en s'abaissant ou s'élevant comme une soupape, la vitesse de l'air qui sort de la glotte. Elle vibre avec la glotte, et l'air, en la soulevant,

arrive dans le gosier, puis dans la bouche, qui paraît remplir le rôle de canal de l'air, comme dans les instruments à anche, la glotte servant d'anche, la trachée-artère de porte-vent et la poitrine de soufflet.

Les ligaments ou cordes vocales de la glotte se tendent d'autant plus que les sons sont plus aigus, exactement comme une corde qui vibre; elles peuvent raccourcir leur portion vibrante en se rapprochant les unes des autres dans une étendue plus ou moins variable. La longueur de ces cordes est beaucoup plus grande chez l'homme que chez les femmes et les enfants; de là vient la différence de gravité et d'acuité des sons. De plus, de même que le timbre des instruments à vent varie, suivant qu'ils sont en bois, en métal, en verre, de même la voix varie avec la dureté des cartilages du larynx; cette dureté est très-grande chez les hommes et quelques femmes à la voix masculine qui ont la pomme d'Adam (qui est une partie du larynx) presque entièrement ossifiée, tandis que ces mêmes cartilages sont très-flexibles chez les autres femmes et chez les enfants.

La bouche et le nez ont aussi une grande influence sur le timbre des sons. Ceux-ci sont nasillards et désagréables lorsqu'ils traversent surtout les fosses nasales, tandis qu'ils sont pleins de force et d'éclat lorsque la bouche est bien ouverte.

L'homme peut modifier à volonté les sons qu'il produit; son cri, lorsqu'il est enfant, ressemble à celui des autres animaux, et s'il est sourd, il garde toujours ce même cri.

C'est l'imitation qui le conduit à adoucir, à moduler, à articuler les sons, à en modifier le timbre et l'intensité, à prononcer, en un mot, à l'aide du pharynx, du nez et des parties de la bouche. D'autres animaux, quelques oiseaux, par exemple, peuvent, à l'aide d'un larynx assez compliqué, former des sons analogues aux nôtres ; mais seuls nous y attachons une signification déterminée ; notre parole n'est donc ni instinctive comme celle des oiseaux chanteurs, ni purement imitative comme celle de quelques oiseaux parleurs.

Ouïe. — Nous recevons les impressions transmises par les ondes sonores au moyen d'un organe auditif fort compliqué. L'oreille extérieure, en forme de pavillon contourné, est continuée par un conduit auriculaire, dont la peau du fond est sèche, tendue, élastique ; elle recouvre de petits organes qui sécrètent une matière jaune et amère qui remplit souvent le conduit auditif. C'est dans le pavillon et le conduit auditif que se réfléchissent les sons ; mais la partie externe de l'oreille ne paraît pas être très-essentielle, car sa perte n'affaiblit presque pas l'ouïe. Les vibrations sonores se communiquent aux parois du conduit auriculaire, qui les transmet à la membrane du tympan. La caisse du tympan, placée derrière la membrane qui ferme le conduit auditif, renferme une chaîne de quatre osselets : le marteau, l'enclume, le lenticulaire, l'étrier, ainsi nommés d'après leur forme, et s'emboîtant les uns dans les autres. Le marteau est attaché à la membrane du tympan, l'étrier l'est à un trou oblong,

recouvert d'une membrane et pratiqué au fond de la caisse du tympan, et appelé la *fenêtre ovale*. Toutes ces parties vibrent, ainsi que l'air qu'elles renferment, et transmettent les vibrations autour d'elles sous l'influence des ondes sonores qui les frappent ; elles servent toutes à perfectionner l'audition, mais elles ne sont pas indispensables et peuvent manquer ou être déchirées sans que l'ouïe soit sensiblement diminuée.

Il faut en excepter toutefois l'étrier, os qui, adhérant à la fenêtre ovale, déchire cette membrane lorsqu'il tombe, et laisse échapper le liquide contenu derrière lui dans le *vestibule* par plusieurs autres membranes. La surdité résulte de cette déchirure. Les vibrations de toutes ces membranes doivent se transmettre aux liquides qu'elles contiennent et à des espèces de poches renfermant un autre liquide dans lequel plongent les ramifications du nerf acoustique qui perçoit ainsi la sensation sonore, ce qu'il ne pourrait faire si le liquide qui baigne ses extrémités s'écoulait par la déchirure de la membrane de la fenêtre ovale.

Ecriture et sténographie de sons. — Il n'est rien, il n'est aucun mouvement que la science ne puisse enregistrer et saisir au passage pour le peindre à nos yeux. La parole qui sort de notre bouche, le chant de notre voix, le simple bruit d'un marteau peuvent se dessiner à nos yeux soit en traits de feu, soit en raies noires sur du papier. Voici comment :

Le diapason avec lequel les musiciens pren-

nent le ton et se mettent tous d'accord pour chanter ou jouer de leurs instruments, est une espèce de fer à cheval en acier et en forme de pincettes, dont les deux branches ont chacune une longueur de 1 décimètre ou moins. Lorsque ces branches vibrent, elles font 870 vibrations par seconde et donnent un son, appelé *la*, qui sert à former toutes les gammes.

On fixe à l'une des branches de ce diapason un petit miroir, et à l'autre un contre-poids égal au poids du miroir, afin que les deux branches vibrent également. On éclaire ce miroir par un point seulement, à l'aide d'une lampe couverte et ne laissant passer qu'un filet lumineux. Lorsque le diapason vibre, le point lumineux, visible sur le miroir, se change pour nos yeux en une ligne, et si l'on fait tourner le miroir, la lumière décrit une ligne sinueuse, dont les sinuosités sont dues aux ébranlements produits par les vibrations sonores du diapason. Or, en projetant cette lumière sur un écran, on aperçoit parfaitement ces lignes lumineuses. Si, de plus, on prend deux diapasons à miroirs, comme ci-dessus, qu'on pose l'un horizontalement et l'autre verticalement, et qu'on les fasse vibrer ensemble, on voit, si l'on reçoit la lumière de ces miroirs sur un écran à l'aide d'une lentille, on voit, disons-nous, se produire deux courbes qui se combinent et forment des figures très-régulières, des 8, des ovaux entrelacés et différemment inclinés, etc.

Voilà pour la peinture lumineuse des sons ;

pas-ons à leur écriture ou à leur sténographie.

Si c'est un corps sonore que l'on fait vibrer, on fixe sur ce corps, bois, diapason ou autre, un stylet ou pointe fine et légère, qui, vibrant avec le corps sonore, trace toutes les vibrations qu'il exécute sur une bande de papier enduite de noir de fumée, laquelle se déroule à sa portée avec un mouvement régulier. On obtient ainsi le dessin des vibrations des corps solides.

Mais on peut encore aller plus loin, et peindre aux yeux les sons de la voix, le bruit du canon ou du chant. On place dans un ellipsoïde ou espèce de demi-œuf en plâtre, une membrane fine et peu épaisse qui, comme la peau des tambours, mais mieux qu'elle, vibre facilement sous toutes les ondulations sonores que reçoit l'air ; puis à cette membrane on adapte encore un style ou crayon qui dessinera les sons sur une bande mobile de papier noircie par du noir de fumée. Lorsqu'un son quelconque pénètre dans la caisse ovoïde, la membrane vibre comme les vitres de nos fenêtres quand il passe une lourde voiture, le style vibre également, et selon l'intensité, la rapidité et l'amplitude des ondulations, trace des lignes plus ou moins ondulées. Ces lignes sont tantôt irrégulières et semblables aux sinuosités d'une corde mal tendue entre deux points fixes, lorsque le son ou le bruit a varié d'intensité, d'élévation, d'acuité ou de gravité ; tantôt elles sont régulières et semblables aux spires d'une corde enroulée sur un long bâton rond bien

égal dans toute sa longueur; tantôt elles présentent des soubresauts pointus, arrondis, puis une ligne droite, puis des courbes en haut, en bas, selon les variations du son.

Lorsqu'on aura trouvé pour la voix et les sons, comme on l'a trouvé pour la lumière, une membrane ou une substance assez sensible pour que les moindres inflexions de la parole puissent être saisies par elle et reproduites soit par le style écrivant, soit par les raies lumineuses qu'on pourrait recevoir sur une plaque daguerrienne, de manière à photographier l'image lumineuse du son, on arrivera peut-être à peindre la parole et les ondulations sonores aussi facilement qu'on photographie aujourd'hui les objets et leurs vibrations lumineuses. Qui sait si on ne parviendrait pas à remplacer en quelque sorte l'oreille par l'œil; du moins à l'aide de cette écriture des ondulations sonores, qu'on apprendra à lire facilement, on percevra des sonorités qui aujourd'hui passent inaperçues, et surtout on les percevra avec une sûreté, une netteté, une précision admirables.

Musique, gamme, etc. — Toute la musique repose donc sur les vibrations, soit de l'air, soit des corps sonores, cordes, bois, métaux. La gamme *ut, ré, mi, fa, sol, la, si, ut*, est une série de sons dont les vibrations sont plus ou moins rapides; si l'on prend, comme on le fait aujourd'hui, pour base, les 870 vibrations du diapason, et qu'on appelle *la* cette somme de vibrations, on a, pour les vibrations de l'*ut* qui le précède, 522 vibrations

simples ou 261 doubles, c'est-à-dire comprenant l'allée et la venue.

En effet, lorsque l'on pince une corde tendue, on remarque que pour en obtenir les différents sons de la gamme il faut raccourcir ou étendre la partie vibrante de cette corde; ainsi, pour avoir le *ré*, il faut ne faire vibrer que les $\frac{8}{9}$ de la corde qui a donné l'*ut*; pour le *mi* que les $\frac{4}{5}$ etc.; voici la liste de ces longueurs de cordes qui produisent la gamme :

ut ré mi fa sol la si.

1 $\frac{8}{9}$ $\frac{4}{5}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$

Le nombre de vibrations qu'exécutent les cordes en une seconde lorsqu'elles donnent ces notes sont, dans la gamme du diapason,

ut ré mi fa sol la si.

261 293 326 348 391 435 489

Pour l'octave en dessous la moitié de ces nombres, et pour l'octave en dessus le double.

Le son le plus grave de l'orgue correspond à 16 vibrations et est donné par un tuyau fermé par un bout, de 5^m,2 de long.

L'harmonie ou les accords agréables à l'oreille que forment plusieurs sons qui se font entendre ensemble, paraissent tenir au nombre des vibrations exécutées pour produire ces sons. Lorsque les rapports entre les vibra-

tions sont simples, il y a plaisir pour l'oreille, comme dans l'accord parfait *ut, mi, sol, ut*, dont les vibrations sont 4, 5, 6, 8; dans *ut, fa, la, ut*, 3, 4, 5, 6. Les dissonances moins agréables ont des rapports moins simples, 8 à 9, comme dans la seconde, *ut, ré*, ou 8 à 15 comme dans la septième.

Toute la musique a donc des lois et des causes physiques.

CHALEUR.

Chaleur du soleil. — Le soleil, ce globe immense qui a un volume de 49 millions de fois plus grand que celui de la lune, et 1,300 mille fois celui de la terre, est la principale source de lumière, et de chaleur que nous avons à la surface de la terre. Son diamètre, qui est de 345,000 lieues, donne pour sa circonférence environ 945,000 lieues, ou 3,780,000 kilomètres.

Bien qu'il soit à une distance de 34 millions et demi de lieues, la vitesse de la lumière ou du mouvement lumineux dont il est le centre est d'environ 70,000 lieues par seconde. C'est une vitesse de 40 millions de fois plus grande que celle d'un boulet de canon, et 10,000 fois plus grande que celle de la terre lorsqu'elle décrit son mouvement autour du soleil. On conçoit quelle puissance calorifique présente un astre semblable, et quelle action il peut avoir sur les planètes qu'il entraîne avec lui et auxquelles il imprime le mouvement, comme la terre.

Et cependant la chaleur qu'il nous envoie

traverse des espaces interplanétaires dont la température paraît varier, d'après divers calculs, de 80 à 132 degrés au dessous de zéro. Mais la terre agit comme une lentille, ou verre grossissant, vis-à-vis de ces rayons ; elle les concentre, elle réunit ceux qui sont dispersés et produit ainsi un accroissement de température d'autant plus grand qu'on se rapproche plus de la terre.

Bien que nous ne recevions que deux milliards trois cent millionnièmes du rayonnement total du soleil, il ne faut pas oublier quelle chaleur doit posséder cet astre. A ce sujet, les savants sont fort divisés : les uns portent sa température à 28 millions de degrés centigrades, d'autres l'évaluent seulement à plusieurs milliers de fois la température de nos fourneaux les plus élevés.

Quoi qu'il en soit, comme il est possible que notre globe, pour se refroidir de 2,000 à 200 degrés, ait pu avoir besoin de 350 millions d'années, on voit que la chaleur solaire doit ne pas être proche de son épuisement.

L'air, qui laisse passer si facilement le mouvement calorifique, absorbe une très-petite quantité de la chaleur solaire, absorption qui est plus considérable dans les couches inférieures rapprochées du sol et pressées par les couches supérieures que dans celles-ci.

Lorsqu'il contient beaucoup de vapeur d'eau, l'air absorbe très-peu de chaleur. Or, l'air contient toujours de la vapeur d'eau, et cette vapeur, continuellement formée par l'évaporation de la surface des eaux, mers, lacs, rivières, en se condensant dans les cou-

ches élevées de l'atmosphère, qui sont assez froides, produit presque tous les phénomènes météorologiques que nous connaissons, nuages, pluies, brouillards, orages, etc., etc.

Nuages. — Quand la terre a une température d'environ 30°, l'eau qui s'évapore à sa surface acquiert une élasticité qui contrebalance et surpasse le poids de toutes les colonnes d'air et de vapeur qui sont au-dessus d'elle; elle s'élève donc jusqu'aux plus hautes régions de l'atmosphère, où les couches de plus en plus froides la condensent et lui donnent la forme de nuages. La vapeur prend dans les nuages une forme particulière à laquelle on a donné le nom de vésiculaire, ce qui ne nous apprend pas grand'chose sur sa nature, mais de cette forme on peut se faire une idée en examinant les vésicules de vapeur qui se condensent sur les verres à vitres au contact de la vapeur d'eau.

Pluie. — Deux courants d'air qui se rencontrent et qui contiennent chacun de la vapeur d'eau à des températures diverses, produisent aussi une condensation de cette vapeur. On peut remarquer, en effet, que, lorsque le vent suit une direction constante, il pleut rarement, tandis que, lorsqu'il change de direction et donne lieu à des courants qui se contrarient et se confondent, la pluie tombe en quantité notable.

Plus la température est élevée, plus il tombe de pluie; et, bien qu'il pleuve peut-être moins souvent en été qu'en hiver et au printemps, la somme de pluie qui tombe, dans la première saison, surpasse souvent celle des

deux autres; car plus la vaporisation est grande par suite de la chaleur, plus la condensation agira sur de grandes masses.

A mesure qu'elles descendent, les gouttes de pluie augmentent de dimension, parce qu'elles entraînent, en les condensant, les vapeurs que contient l'air dans les régions plus chaudes qui environnent la terre.

La pluie est, du reste, une des plus grandes richesses de la nature, car c'est l'agent le plus actif de la végétation, et dans les pays privés de rivières ou de sources, elle sert de boisson lorsqu'elle est recueillie dans des réservoirs.

Les nuages laissent donc échapper des gouttelettes qui se vaporisent dans les régions inférieures de l'atmosphère, et que l'on ne sent que sur les hautes montagnes. Mais si ces gouttelettes sont en grand nombre et forment une masse liquide trop puissante pour se vaporiser facilement, elles tombent en pluie poussée par la pesanteur, jusqu'à ce qu'il ne reste que des gouttes trop petites pour ne pas être vaporisées à leur tour.

C'est en passant à travers les différentes régions de l'atmosphère différemment échauffées, que ces gouttes d'eau perdent la température froide qu'elles avaient dans les grandes hauteurs; en arrivant sur le sol, leur température n'est pas très-inférieure à celle de la terre.

La quantité de pluie qui tombe en une année est à peu près toujours la même pour un même lieu, mais elle varie suivant les climats; elle dépend du voisinage des mers,

et est plus grande dans les saisons chaudes que dans les saisons froides ; elle est aussi plus considérable à l'équateur que dans les climats tempérés comme la France, et décroît encore vers les pôles, bien que le nombre des jours pluvieux soit plus grand en avançant vers le nord.

A Paris, en moyenne, on a calculé qu'il tombait une quantité d'eau, qui, si elle était réunie, pourrait couvrir toute la terre jusque environ 56 centimètres de hauteur. Aux Antilles, il en tombe environ 6 fois autant, plus de 300 centimètres.

En Europe, les pluies d'automne, plus abondantes que celles d'été, n'ont cependant pas la régularité des pluies tropicales. Entre les tropiques, vers le Nil, le Gange, le centre Amérique, les pluies reviennent à des époques périodiques, commencent lorsque le soleil marche vers la verticale du lieu, durent cinq ou six mois et finissent lorsque le soleil retourne vers l'équateur. Les vents changent alors de direction ; ils soufflent de la mer vers l'intérieur des terres, où ils condensent les vapeurs de l'Océan.

Serein. — On sent quelquefois tomber en été, au coucher du soleil, une petite pluie fine, bien qu'il n'y ait aucun nuage au ciel : c'est le serein qui, rare sur les lieux élevés, est surtout fréquent dans les plaines ; il provient d'un subit abaissement de la température produit par la cessation de l'échauffement causé par les rayons du soleil. La vapeur d'eau est alors condensée dans une région peu élevée et ne peut se vaporiser

dans sa chute, ni prendre l'aspect d'un nuage, puisqu'elle ne monte pas dans les hautes régions froides de l'atmosphère.

Brouillards. — Les brouillards qui se forment le matin se répandent surtout au-dessus des lacs et des rivières; le soir, ils se forment partout; ceux qui disparaissent le jour sont dus au refroidissement nocturne du sol et de l'atmosphère. Ceux que l'on voit en été au-dessus des rivières après les pluies d'orages proviennent d'un air plus froid que la vapeur d'eau qui se dégage de la surface de l'eau, et qui se trouve condensée dans ce milieu différent. Le brouillard sera plus épais si l'air est plus humide, et la température plus éloignée de celle de l'eau.

En hiver, au moment du dégel, on observe souvent des brouillards qui tiennent à la même cause que le ternissement d'une glace par l'haleine. Celle-ci étant plus chaude que la surface de la glace, la vapeur d'eau qu'elle contient est refroidie et condensée sur le verre. Il en est de même de la vapeur de l'air qui en été couvre les bouteilles qu'on monte de la cave, où elles ont acquis une température plus fraîche.

Grêle. — La grêle, produite également par condensation de la vapeur d'eau par un vent froid, ravage principalement les pays tempérés. Il est rare d'en voir dans les contrées chaudes, si ce n'est sur les montagnes. Les nuages qui la produisent sont très-épais et sont généralement situés à de très-grandes hauteurs, ce qui permet aux grêlons qui s'y forment d'acquérir des dimensions considé-

rables, jusqu'à peser 200 et 250 grammes, parce que sur leur route ils condensent à leur surface les vapeurs des couches d'air qu'ils traversent. Ces grêlons ont toujours un noyau central, irrégulier, presque opaque, environné de couches concentriques d'une glace plus transparente ou quelquefois alternativement transparentes et opaques. Ils ont la forme soit d'une sphère, soit d'un petit cône ou de pyramides accolées : quelquefois de l'air s'est dégagé de leur intérieur pendant la congélation, et y a ainsi formé des espèces de petits tubes cylindriques, comme on en trouve souvent dans la glace.

La grêle tombe presque toujours, en été, à la suite de refroidissements considérables qui se font sentir depuis les nuages jusqu'au sol. Elle accompagne et précède souvent les pluies d'orage et ne les suit presque jamais. Presque toujours, sa chute concorde avec des phénomènes d'électricité atmosphérique ; le tonnerre gronde souvent avant et pendant sa chute, ce qui a conduit à penser que sa formation était due à l'électricité ou qu'il s'en dégageait lors de sa production.

Rosée. — La rosée ne tombe pas précisément du ciel, comme le donnerait à penser le langage qu'on emploie ordinairement. C'est uniquement, en effet, le dépôt d'une certaine quantité de vapeur contenue dans l'air sur des corps très-refroidis qui la condensent pendant la nuit. En effet, le refroidissement des corps précède toujours l'apparition de la rosée. Quand le ciel est serein et la nuit calme, la surface de la terre et des corps qu'elle

supporte, rayonne, ou renvoie une partie du calorique qu'elle a reçu pendant le jour du soleil, et ne reçoit rien en échange des espaces planétaires dont la température est de plus de 60 degrés au-dessous de zéro. Elle se refroidit donc et arrive à une température plus basse que l'air qui l'environne. Si une couche d'air arrive en contact avec ce sol, elle se refroidit instantanément, la vapeur d'eau qu'elle contient toujours est immédiatement condensée sous forme de gouttelettes liquides qui se déposent sur tous les corps placés près de la terre. C'est pour cela que les plantes couvertes de rosée ont toujours une température plus basse que les couches d'air situées à 1 ou 2 mètres du sol.

Comme en hiver et en été il y a peu de différence dans la température de la nuit et du jour, c'est surtout au printemps et en automne et vers le lever du soleil que la rosée se produit le plus abondamment.

La rosée ne se produit pas sur les substances métalliques ni sur les corps polis, parce que ceux-ci se refroidissent peu par le rayonnement, tandis qu'elle se dépose en abondance sur l'herbe, le bois, le papier, le verre même, qui ont un plus grand pouvoir rayonnant. (V. plus loin l'article *Rayonnement*.)

Lorsque le ciel est couvert, le refroidissement n'a plus lieu de même, parce que les nuages forment écran et renvoient vers la terre une certaine portion de chaleur. Plus la journée a été chaude, plus il y aura production de rosée, car le rayonnement sera plus actif. Mais il faut une légère agitation

de l'air pour favoriser le renouvellement des couches qui déposent leur vapeur; un temps trop calme n'amène en contact avec le sol qu'une même couche d'air, tandis que les vents rapides et puissants empêchent le refroidissement. Celui-ci est d'autant plus grand que les objets sont plus isolés et placés dans un lieu plus découvert, où l'on ne trouve ni arbres, ni murs qui puissent, par leur propre rayonnement, restituer aux objets la chaleur qu'il perd. C'est, du reste, ce qui se passe lorsqu'on quitte la ville pour la campagne, ou qu'on sort d'un abri quelconque pour s'exposer à l'air libre, la nuit. Le rayonnement des corps environnants étant nul, le refroidissement général est bien plus sensible.

Givre. — Le givre ou gelée blanche est dû à la même cause que la rosée; seulement il a lieu à une époque de l'année, l'automne ou le printemps, où la température de l'air étant seulement de 3 ou 4 degrés, les corps et la terre prennent par leur rayonnement une température inférieure à 0, qui leur permet de congeler la vapeur qui se dépose sur eux.

Les gelées qui ont lieu dans ces mêmes saisons tiennent également à ce rayonnement qui porte les plantes et la terre à la température de la congélation, tandis que l'air est au-dessus de zéro. Pour préserver les plantes de ces gelées très-dangereuses pour elles, surtout lorsqu'elles sont tardives, il faut les couvrir d'une toile légère, ou par des abris de paille qui, fixés à 2 ou 3 mètres du sol, em-

pêchent le mouvement calorifique de s'échapper sans retour, et maintiennent la température de l'espace ainsi couvert à 6 ou même 8 degrés au-dessus de la température de la gelée.

On peut du reste, par un temps serein et un air calme, obtenir de la glace par le moyen de ce rayonnement nocturne, même lorsque la température générale n'est pas arrivée au point ordinaire de la congélation.

Neige. — Les vapeurs d'eau que contient l'air, gelées dans le nuage qu'elles forment, par la diminution de chaleur appelée froid, tombent en neige; si le froid est vif, les petits glaçons se réunissent en se touchant par quelques points seulement et forment les flocons; il est rare que nous voyions la neige sous forme de cristaux bien réguliers; il faut un froid vif et constant (10 à 12° sous zéro), comme au sommet des Alpes, pour qu'elle cristallise avec des formes régulières et en étoiles plus ou moins compliquées.

Le volume de la glace est de $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{9}$ au-dessous de celui de l'eau qui l'a formée, tandis que la neige a 10 ou 12 fois plus de volume que l'eau qu'elle fournit étant fondue.

L'évaporation de la neige est très-facile et très-rapide, car ses particules sont très-désunies et présentent beaucoup de surface à l'évaporation; elle se comprime facilement et prend alors l'aspect et le volume de la glace ordinaire; elle perd ainsi en partie son opacité et sa blancheur, qui proviennent de sa

faculté de réfléchir tous les rayons colorés sans en absorber aucun.

Son évaporation est cependant moins rapide que celle de la pluie; et lorsqu'elle a longtemps couvert la terre, on remarque que les fontaines sont plus abondantes qu'à l'ordinaire.

Si l'air qu'elle traverse est plus chaud que celui où elle s'est formée, elle fond et tombe en neige fondue. Elle retient dans l'air qu'elle renferme 0,294 et 0,345 d'oxygène en plus de l'air atmosphérique, qui n'en a que 0,21.

En gros flocons elle annonce un adoucissement de température; en forme d'aiguilles, elle est suivie d'un grand froid.

En couvrant la terre, elle maintient la chaleur et la végétation; dans les climats froids, sa puissance réfléchissante s'oppose au rayonnement calorifique du sol, et l'empêche de se refroidir lorsqu'elle couvre la terre une grande partie de l'année; elle préserve alors les végétaux de la gelée. En enfonçant profondément un thermomètre dans la neige, il marque toujours une élévation de température. Aussi un grand nombre de plantes se conservent ensevelies sous la neige et poussent au printemps avec rapidité si la neige a fondu lentement et ne les a pas désorganisées.

Elle entretient aussi le ton de l'économie animale, affermit et fortifie les forces musculaires, favorise la circulation du sang; aussi ses frictions sont-elles utiles pour ranimer les parties du corps qui ont beaucoup souffert du froid.

A Paris, le nombre moyen de jours de neige est de 11.

Il existe des montagnes où la température est constamment à 0° et où les neiges sont perpétuelles; dans les Alpes, on les rencontre à 2,500 ou 2,700 mètres.

A moins 20° la neige devient pulvérulente ou en poussière, et flotte dans l'air en tourbillons redoutables qui forment les avalanches.

Neige rouge. — On rencontre dans les régions polaires, dans nos Alpes et nos Pyrénées, de la neige rouge, dont la coloration est due à un petit champignon qui pousse sur la neige.

Grésil. — Le grésil, qui tombe ordinairement au début du printemps, est probablement un ou plusieurs flocons de neige qui, après avoir commencé à fondre, a subi un nouveau refroidissement, lequel a réuni les molécules et formé une réunion de petits cristaux plus ou moins serrés ou entrelacés, en pelote assez compacte.

Verglas. — Le verglas n'est autre chose que le résultat de la congélation d'une pluie peu abondante, qui provenait d'un air un peu plus chaud que la terre sans l'être beaucoup, et tombée sur un sol ayant une température inférieure à 0°. Il forme une couche mince transparente et polie; il est donc inexact de dire que le verglas tombe, puisqu'il se forme sur le sol même et par le froid terrestre. La pluie ne produit pas de verglas lorsqu'elle tombe en abondance suffisante pour mouiller les corps et par suite les échauffer.

Le givre comme la neige est fort utile aux plantes, parce qu'il maintient la terre et les jeunes pousses à une température supérieure à celle de l'atmosphère, et les garantit ainsi contre les froids rigoureux de l'hiver.

La rosée n'est pas moins précieuse pour la végétation, surtout dans les pays où les pluies sont rares; au Pérou, elle entretient à peu près seule la fraîcheur de la verdure.

Pluies rouges, de sang, etc. — Tout ce qu'on a désigné sous le nom de pluies de sang, pluies rouges ou pluies de soufre, est dû, les premières, à la présence de petits animaux très-nombreux; les dernières à des substances enlevées par les vents aux environs des cratères, des volcans, ou au pollen des fleurs, et surtout des pins. Quant aux pluies de crapauds et de chenilles, à la rigueur, le vent aurait pu les entraîner ou la pluie les attirer, mais plus probablement c'est après les avoir vu sortir de leurs retraites en grand nombre après l'humidité qu'on les a crus apportés par la pluie.

Les pluies de graines et en particulier de lichens sont, au contraire, évidemment dues au transport des vents.

Vents. — Les vents sont produits par un mouvement plus ou moins rapide de translation de l'air, causé par une rupture d'équilibre dans les couches de différentes densités qui composent l'atmosphère.

La condensation instantanée des vapeurs, en produisant un vide considérable, amène un déplacement considérable dans la masse de l'air, des variations de densité et de pres-

sion. Toute raréfaction ou dilatation de l'air par la chaleur, toute condensation par le froid produisent des mouvements continuels. Enfin la rotation du globe produit aussi, avec l'influence du soleil et de la lune, certains courants aériens constants et généraux.

Toute condensation produit un vide, et par suite une sorte d'aspiration qui donne une grande vitesse aux courants. Les dilatations causent des impulsions relativement moins violentes.

Vers la zone torride, les vents ont une grande constance; ils sont plus variables dans les pays tempérés, quoique quelques courants y dominent sensiblement. Aux pôles, les variations se succèdent de minute en minute, produites par des mouvements venant de tous les points du globe en sens contraires.

Il existe souvent des courants d'air qui soufflent à de grandes hauteurs dans une direction différente des vents inférieurs. A Ténériffe, au sommet du pic, règne un violent vent d'O.-S.-O., au pied de la montagne règne un vent alizé.

Du reste, les vents qui amènent la pluie varient suivant les pays; ceux de la Méditerranée n'agissent pas comme ceux de l'Atlantique; en France, ce sont surtout les vents qui viennent de cette dernière direction qui nous l'amènent. La température des contrées traversées par les vents les rendent froids comme les bises du nord, comme le mistral qui parcourt le sud-est de la France et le nord de l'Italie; ou chauds comme le

sirocco (en Italie) et le solano en Espagne, qui viennent d'Afrique et transportent une chaleur suffoquante. En Egypte, le khamsyn souffle du midi pendant cinquante jours avant et après l'équinoxe du printemps; il est étouffant et soulève une poussière embrasée. Le simoum (vénéneux), dans les déserts d'Arabie, au nord de l'Afrique, en Perse, entraîne dans sa course brûlante quantité de sable et de poussière jaune, bleue, violette, qui exhale une odeur de soufre. Mais le plus terrible de tous, c'est l'harmattan, qui trois ou quatre fois par an souffle de l'intérieur de l'Afrique vers l'Atlantique, surtout vers la côte de Guinée, et qui pendant 4, 5, 15 jours, accompagné d'un brouillard sec et épais, dépose sur tous les corps, jusqu'à 800 à 900 kilomètres de la côte, une poussière minérale blanche; il est très-sec, détruit la végétation, et rend douloureuses toutes les parties de notre corps avec lequel il est en contact.

Ouragans. — Les ouragans, causés par une extrême raréfaction de l'air, ou par des condensations violentes de vapeur, abattent et entraînent tout sur leur passage, font monter les torrents à des hauteurs prodigieuses, et portent quelquefois les flots de la mer au milieu des terres où ils causent de désastreuses inondations. Les îles Antilles sont très-souvent ravagées par ces tempêtes, qui parcourent avec une énorme rapidité tous les points de l'horizon, et avec des sauts très-brusques; la mer de Chine a aussi de terribles ouragans ou ty-fons qui durent de juillet à octobre.

Trombes. — On voit souvent aussi sur mer

se produire des trombes, espèces de cylindres ou de cônes d'eau de mer, animés d'un rapide mouvement de rotation et de translation, analogue à celui de la terre autour du soleil; l'eau s'y élève très-haut avec une grande force; on les a quelquefois détruites en les coupant avec des coups de canon. Il y a sur terre des trombes également en forme de cônes et de cylindres de dimensions moins considérables. Mais au lieu d'eau, elles entraînent et jettent de tous côtés, les arbres, les maisons, les rochers, dessèchent les lacs, dont elles soulèvent l'eau, renversent les murs les plus résistants, creusent dans le sol de profondes excavations, et sont souvent accompagnées de globes de feux lançant des éclairs. Leur marche s'annonce par un fracas qui rappelle celui d'une lourde voiture roulant sur le pavé. Quoique ce soient évidemment des tourbillons de vent, il est possible que l'électricité soit une des causes de ces tourbillons.

Par tout ce que nous venons de dire, on voit combien il est difficile de prévoir exactement et jour par jour le temps qu'il fera à une époque et dans un endroit quelconque. S'il est quelques phénomènes qui reviennent à peu près périodiquement, tant de causes influent sur ce retour, et il est tant d'autres accidents qui ne peuvent être ni annoncés ni soupçonnés, produits qu'ils sont par des causes très-diverses et très-variables, que toute prédiction précise, jour par jour, est impossible. Mais la rapidité des communications peut facilement permettre de faire connaître

instantanément les orages, les changements de temps survenus dans une région, afin d'avertir les autres régions ou de hâter leurs travaux ou de prendre les précautions convenables.

Parmi les vents constants, on remarque d'abord les vents alizés, qu'on observe sur l'Océan, où ils soufflent surtout du N.-E. au S.-O. dans l'hémisphère nord, et du S.-E. au N.-O. dans l'hémisphère austral; il y a une limite à l'équateur qui sépare les alizés du nord-est et du sud-est, qui est remarquable par ses calmes qui empêchent toute navigation.

D'autres variations de direction, qui tiennent à l'influence des terres et des chaînes de montagnes de l'Amérique, n'empêchent pas ces courants d'avoir une constance remarquable qu'il faut attribuer au mouvement annuel de l'atmosphère par suite de la position du soleil.

Les moussons sont des vents qui, périodiquement, se font sentir pendant six mois dans la zone torride, surtout au printemps et en automne. Ils sont dirigés toujours vers l'hémisphère le plus échauffé par le soleil, et vont de l'hémisphère sud vers l'hémisphère nord au printemps et en été, et du nord au sud en automne et en hiver. Ces courants sont, du reste, peu élevés et arrêtés par des montagnes de médiocre hauteur.

La Méditerranée a quelques moussons qui naissent de l'air fortement échauffé par les plaines brûlantes du Sahara, lequel s'élève rapidement par suite de sa densité moindre,

et sollicite un courant venant de la Méditerranée et du nord.

Sur les côtes, on connaît des vents périodiques de 12 heures, soufflant, le jour, de la mer vers la terre, et la nuit, de la terre vers la mer. Dans les zones centrales, ils durent toute l'année ; dans nos climats, seulement en été ; le jour, le soleil échauffe en effet le sol plus que la mer, d'où il suit que l'air qui pèse sur celle-ci doit souffler vers la terre et revenir ensuite vers la mer le soir lorsque la terre se refroidit.

Dans nos climats tempérés, les vents irréguliers et ceux d'ouest dominant. En hiver, ils viennent surtout du sud-ouest en Europe, et en été du nord-ouest. En automne, du sud, et au printemps de l'est ; ils produisent généralement la sécheresse. Les vents violents et les tempêtes des équinoxes sont dus, au printemps, à des luttes de vents froids du nord et de vents chauds du midi, qui produisent des mélanges d'air sec et d'air humide, de beau temps, de pluie, de neige et de grésil. En automne, les vents du sud prédominent, versent sur les contrées du midi l'eau qu'ils possèdent, et arrivent secs vers l'Europe moyenne, où ils produisent au milieu de l'automne ce beau temps connu sous le nom d'été de la Saint-Martin ou des Vieillards.

Bien que de nombreux désastres soient dus à l'action des vents, il faut reconnaître l'utilité qu'ils ont pour nous, en transportant sur les terres la pluie nécessaire à la végétation et à la vie ; ils maintiennent la salubrité parmi

les populations entassées des villes, et remplacent l'air vicié par les exhalaisons insalubres de toutes sortes, par un air pur et purgé de miasmes. Si quelquefois ils transportent ces miasmes infects que l'ignorance et l'incurie de populations barbares entretiennent, dans des contrées éloignées, il en faut surtout accuser les hommes qui laissent se former les foyers d'infection, et qui, par paresse ou par superstition, comme les peuples d'Asie et les habitants du Gange, laissent des détritrus de toutes sortes se décomposer dans les rivières et infester l'air de miasmes cholériques.

Un jour viendra sans doute où la civilisation fera disparaître ces germes de mort et de maladies, et peut-être la science, plus éclairée qu'elle ne l'est encore sur les perturbations atmosphériques, pourra tirer un nouveau parti de cette force du vent qui ne fait plus marcher ni voiles ni moulins depuis l'invention de la vapeur, et trouvera le moyen de se garantir de ses dévastations, de ses mouvements désordonnés, et de ses incursions inattendues.

Mer. — La température de la mer paraît assez constante vers les tropiques; elle reste entre 27 et 28°; mais à de grandes profondeurs elle se refroidit d'une manière sensible; à l'équateur, à 3,800 mètres de profondeur, elle serait de 1°, 6; à 1,600 mètres, de 2°, 8; à 700 mètres, de 5° par suite des courants sous-marins venus des zones polaires.

Dans les régions polaires, le fond est au

contraire moins froid que la surface; la glace étant moins lourde et moins dense que l'eau non gelée, doit flotter à la surface et empêcher le rayonnement calorifique.

Courants marins. — La mer a, comme l'atmosphère, ses courants variables et constants.

Entre les tropiques jusqu'à 30° de latitude nord et sud, existe un courant dans l'Océan, qui porte ses eaux d'orient en occident, dans une direction semblable à celle des vents alizés et contraire à celle de la rotation du globe; le mouvement est même plus rapide que celui des vents alizés.

Un autre courant, qui porte les eaux des pôles vers l'équateur, a son correspondant dans l'atmosphère comme s'il était produit par l'action de la force centrifuge.

Les eaux vaporisées à l'équateur laissent un vide, et celles des pôles se précipitent pour les remplir. Le mouvement de rotation à l'équateur étant bien plus rapide d'occident en orient, est aussi plus rapide que celui qui existe aux pôles; par suite, les eaux qui viennent de ceux-ci restent un peu en arrière jusqu'à ce qu'elles aient acquis le mouvement propre à cette région équatoriale; elles occasionnent ainsi un mouvement en sens contraire d'est en ouest.

La configuration des terres, les éminences sous-marines modifient ces deux courants et font naître une multitude de courants particuliers, quelquefois contraires et toujours plus rapides dans les passages rétrécis.

Chaleur de la terre. — Le globe terrestre

a aussi une chaleur qui lui est propre et qui n'est pas due à la chaleur solaire; celle-ci qui, reçue à la surface, n'est que

$$\frac{1}{2,381,000,000}$$

ou un 2,381 millionième de la chaleur totale qu'émet le soleil, ne pénètre pas à plus de 25 à 30 mètres. A cette profondeur, la température d'une même couche de terre reste invariable; à Paris, cette limite existe à 27 mètres; car, à cette profondeur, la température reste toujours à 11 degrés, et elle augmente à mesure qu'on remonte vers la surface. Mais au delà de cette limite invariable, la température croît à mesure qu'on s'enfonce dans la terre, et cela, dans tous les pays, dans toutes les mines, à toutes les profondeurs, et quelle que soit la nature des terrains.

Le globe terrestre a donc une chaleur qui est la suite de l'énorme température qu'il avait atteint lorsqu'il était à l'état liquide ou gazeux avant l'époque où, par suite du rayonnement ou de la déperdition de sa chaleur, sa superficie s'est solidifiée. Cette couche superficielle solide, qui paraît n'être épaisse que de 60 kilomètres sur une masse totale 1,000 fois plus grande, est peu conductrice de la chaleur, ce qui doit concentrer la chaleur centrale et empêcher le centre terrestre de se refroidir aujourd'hui rapidement. Quoi qu'il en soit, à mesure qu'on descend de 30 à 40 mètres on trouve une

augmentation d'un degré ; c'est-à-dire qu'à 4,000 mètres, par exemple, on aurait une température de 100 degrés, celle de l'eau bouillante ; à 40 kilomètres une température de 1,000 degrés ; à 80, de 2,000, et on arriverait à un point où tous les métaux seraient en fusion, si la chaleur croissait toujours dans la même proportion.

SOURCES DE CHALEUR.

Mais la chaleur terrestre n'a plus aujourd'hui une bien grande influence sur la température générale de la surface. Quelques tremblements de terre, quelques volcans par lesquels elle manifeste parfois sa puissance cachée, ne troublent pas la sécurité de la couche solide du globe.

Mais à la surface même de la terre, il est une foule de causes qui, à la volonté de l'homme, peuvent produire de la chaleur. Parmi les principales nous citerons les actions chimiques, le frottement, la compression, et en général tous les mouvements qui ont une certaine énergie.

Frottement, percussion, compression. — Lorsque l'on frappe vivement et fortement sur une barre de fer ou sur tout autre métal avec un marteau ou un balancier à frapper les monnaies, on voit ces corps s'échauffer d'une manière sensible par la percussion et par la pression ; on peut même ainsi enflammer un morceau de phosphore. Il y a une diminution sensible de volume dans les corps frappés ; les molécules étant pressées les unes

contre les autres, mettent ainsi en mouvement l'éther qui est renfermé dans toutes leurs parties; et même dans certains corps presque incompressibles, la percussion détermine cette vibration, d'abord des molécules, puis de l'éther, et nous éprouvons au contact de ces corps la sensation de la chaleur.

Les gaz produisent aussi le mouvement calorifique lorsqu'on les comprime; l'air (mélange de deux gaz oxygène et l'azote), réduit brusquement au cinquième de son volume, dégage assez de chaleur pour enflammer l'amadou, c'est-à-dire environ une température de 300 degrés.

L'oxygène, le chlore, l'hydrogène, l'azote et les autres gaz donnent aussi un dégagement de chaleur par la même compression.

Puisque la compression donne de la chaleur, la dilatation ou l'expansion des gaz doit donner du froid. Aussi dans l'air que l'on raréfie et qu'on dilate par la machine pneumatique, on obtient 23 degrés de froid.

De même, si l'on comprime l'air dans un réservoir et qu'on le laisse ensuite s'échapper par un étroit orifice, le froid produit à la sortie de l'air dilaté est très-vif, et si l'air est humide, la vapeur entraînée par l'air se condense et se congèle même quelquefois. Dans les mines, l'air est parfois comprimé violemment dans des cavités par de grandes masses d'eau, et il dépose souvent des couches de glace, lorsqu'il s'échappe alors avec violence par une issue quelconque.

Le frottement des corps solides produit également le mouvement calorifique. — Deux

morceaux de glace, frottés ensemble à une température au-dessous de zéro, dégagent assez de mouvement calorifique pour se fondre et produire ainsi un liquide qui a une température supérieure à la leur. Deux morceaux de bois vivement frottés s'échauffent assez pour s'enflammer. En forant sous l'eau une masse de bronze, la chaleur dégagée pour produire 250 grammes de limaille, pourrait élever de 1° la température d'un poids d'eau 10,000 fois plus grand. C'est pour cela que les essieux de voitures, en frottant contre les boîtes des roues, s'échauffent au point de s'enflammer, et que le choc ou le frottement brusque de l'acier contre une pierre silex, développe des étincelles qui sont produites par le détachement de particules assez échauffées pour prendre feu.

Chaleur dégagée par les actions chimiques. — Le fer qui se couvre de rouille s'oxyde, c'est-à-dire absorbe l'oxygène de l'air et se combine avec lui, et la chaleur qui est développée dans cette combinaison chimique n'est pas très-sensible. Mais lorsque la bougie, l'huile des lampes, le bois brûlent, la combinaison de la cire, de l'huile, du charbon avec l'oxygène est très-évidente et dégage de la chaleur et même de la lumière et de la flamme. Cette flamme n'est que le résultat de la vapeur de ces corps portée à une haute température; les flammes les plus brillantes ne sont pas les plus chaudes, car leur éclat tient seulement à la présence de matières solides incandescentes; et certains gaz qui, comme l'hydrogène, brûlent avec une

flamme pâle, dégagent beaucoup plus de chaleur.

On voit, toutefois, que les combinaisons chimiques, qui sont toutes plus ou moins analogues à la combustion du bois ou de l'huile, produisent un mouvement de l'éther qui nous cause la sensation appelée chaleur. Mais ce mouvement varie d'intensité avec les substances; ainsi on a trouvé qu'un kilogramme de chacune des substances suivantes élevait d'un degré par sa combustion les poids d'eau suivants, en kilogrammes :

1 k. d'hydrog. pur, élève de 1° 34,600 k. d'eau.

Hydrogène carboné (gaz d'éclairage).....	12 à 13,000 k.
Huile d'olive.....	9,862
Coke.....	6,500
Houille moyenne.....	7 600
— grasse.....	6,000
Carbone pur.....	7,295
Charbon de bois.....	7,300
Alcool à 42°.....	6,855
Essence de térébenthine	10,836
Bois sec.....	3,500
Bois séché à l'air.....	2,600
Soufre.....	2,600

Chauffage. — Dans l'industrie et dans l'économie domestique, les modes de chauffage varient beaucoup. Le chauffage ordinaire de nos cheminées et poêles, produit par le feu couvert ou non couvert, quelque agréable qu'il soit à l'œil, est très-peu économique. Dans les cheminées,

on n'utilise guère que les 18 centièmes de la chaleur produite par la combustion du bois ou de la houille (charbon de terre), et le reste est perdu inutilement, entraîné au dehors dans la cheminée par le courant d'air nécessaire à la combustion. On n'a même généralement pas le soin, dans les constructions, de chercher à utiliser, pour les étages supérieurs ou inférieurs, le courant calorifique ainsi produit. Il est juste de dire cependant que c'est un chauffage très-sain, en ce qu'il favorise le renouvellement complet et continu de l'air des appartements. La différence de température, et par suite de densité entre l'air chauffé des tuyaux de cheminée et l'air plus dense de l'appartement, détermine un courant ascendant continu, produit par l'élévation de l'air chaud devenu plus léger, et par suite le tirage ou l'attraction en haut de l'air plus dense de l'appartement. C'est ce qui n'a pas lieu avec les poêles.

Les poêles, surtout ceux de fonte, émettent beaucoup de chaleur, échauffent rapidement l'air des chambres, et constituent un chauffage économique; mais le renouvellement de l'air des chambres est ainsi presque nul, et une odeur désagréable et même délétère, due à la décomposition des matières organiques suspendues dans l'air, rend leur emploi quelquefois malsain.

Les calorifères à air chaud sont généralement formés d'un foyer, souvent placé dans les caves; l'air s'échauffe sur les parois extérieures du foyer et des tuyaux qui emportent la fumée; et, comme il est devenu moins

dense et plus léger par l'échauffement, il peut s'élever aux divers étages des maisons et pénétrer dans les appartements par les bouches de chaleur ouvertes auprès des planchers.

Combustion de la fumée — On a imaginé divers systèmes pour brûler même la fumée produite par la combustion de la houille, et supprimer ainsi les inconvénients que présentent la perte de chaleur et de combustible et les encrassements occasionnés par la fumée des foyers. Le système Arnott est un des plus simples; il consiste en une boîte à fond mobile sur lequel on pose le combustible, charbon ou coke; on allume d'abord la partie supérieure du charbon; celui-ci en brûlant commence à distiller, pour ainsi dire, le charbon qui est au-dessous de lui, et sur lequel l'air extérieur arrive au moyen de petites ouvertures percées dans les parois de la boîte. Les gaz et la fumée qui se dégagent dans cette combustion inférieure sont forcés de passer à travers le charbon supérieur incandescent qui les brûle complètement et absorbe toute la fumée. Comme la boîte contient tout le combustible nécessaire pour une journée, il suffit de relever le fond mobile pour ramener le charbon inférieur au contact du charbon supérieur incandescent et près des orifices de l'air, de manière à entretenir la combustion. C'est un système qui peut aussi bien convenir aux cheminées qu'aux machines à vapeur et aux usines.

Des calorifères peuvent également être construits sur le même principe; seulement,

on renverse le mode de combustion ; c'est sur la partie inférieure de la houille que l'on dirige le courant d'air nécessaire à la combustion ; cette houille est placée dans un cylindre fermé par un couvercle. Lorsque la combustion inférieure s'opère, la fumée qui se dégage, ne pouvant trouver d'issue par en haut au cœur du couvercle, est obligée de redescendre sur le foyer où elle se brûle complètement. Quant à la houille, une fois une couche brûlée, le seul poids de celle qui la surmonte et qui ne l'est pas, fait descendre de nouvelles couches de houille, qui, en contact avec le courant d'air inférieur, brûlent à leur tour et continuent la combustion, puis brûlent de nouveau leur fumée et entretiennent sans cesse ce mouvement de va-et-vient.

Chauffage par l'eau chaude. — On emploie aussi le chauffage par circulation d'eau chaude ; l'eau échauffée dans une chaudière subit des déplacements nombreux, parce que les couches chauffées et moins denses s'élèvent pour faire place aux couches plus denses ; il en résulte un mouvement continu de l'eau ; on la fait alors monter par des tuyaux dans des réservoirs bien fermés, placés dans les combles des maisons ; elle redescend ensuite par d'autres tuyaux qui circulent dans tout l'édifice et où elle laisse sa chaleur, pour revenir après dans la chaudière d'où elle était partie. Des poêles à eau chaude sont généralement disposés sur le passage des tuyaux de retour, et contiennent des tubes en fonte qui sont en communication avec l'air extérieur ; cet air s'échauffe dans les

tubes, et porte encore de la chaleur dans les appartements en se dégageant au-dessus des poêles.

Chauffage par la vapeur. — Comme la vapeur restitue, lorsqu'elle se condense, le calorique qui a servi à sa vaporisation, il suffit de produire une grande quantité de vapeur d'eau dans une chaudière, pour qu'elle cède à de l'air qui circule autour de tuyaux où elle se rend par suite de sa légèreté, tout le calorique qu'elle a absorbé. Ces tuyaux circulent sous les planchers des chambres et en échauffent l'air très-complètement. L'eau condensée revient dans la chaudière sans perte, à l'aide de tuyaux particuliers.

QU'EST-CE QUE LA CHALEUR? SES EFFETS.

Lorsque nous disons qu'un corps est chaud, nous voulons dire qu'il est devenu chaud par une cause quelconque, car il pouvait être froid cinq minutes avant. Quelle est la cause qui, de froid qu'il était, l'a rendu tel qu'il nous donne une sensation toute différente de la première? Quelle est la cause qui, de solide qu'il était auparavant, l'a rendu liquide ou gazeux et invisible? Nous l'avons chauffé, ou il s'est échauffé par la chaleur solaire, répondons-nous. Mais qu'est-ce que le chauffer? que s'est-il dégagé, soit du soleil, soit du foyer calorique, bois brûlé, gaz enflammé, huile et mèches, charbon ou soufre incandescents? Comment le corps a-t-il changé de nature, d'état, d'aspect et de propriétés ordinaires? car un solide devient li-

guide par la chaleur, gazeux quelquefois, comme le soufre ; de poli il devient terne ; de dur il devient mou ; de petit il devient volumineux, de l'état de repos il passe à l'état de mouvement. Lorsque nous mêlons deux corps, quelques-uns de ces phénomènes se passent, il est vrai, mais non pas tous ; tandis que la chaleur, pourvu qu'elle soit portée à un degré convenable, agit sur tous les corps.

Nous pouvons mécaniquement, par un effort et un mouvement de bras et d'un outil, détruire le poli d'un corps, le diviser, etc. ; mais nous ne pouvons aussi facilement rendre un solide liquide, ni un solide gazeux ou un liquide gazeux.

Or, remarquons que la chaleur ne rend presque jamais un liquide ou un gaz solide, tandis qu'elle fait toujours l'inverse ; si pour quelques corps comme le soufre il y a une certaine limite où la chaleur semble cesser d'agir, il suffit d'accroître encore son intensité pour qu'elle reprenne son action et volatilise le corps.

Au contraire, toute pression liquéfie les gaz, et solidifie les solides ; il y a plus, la diminution de chaleur ou le froid solidifie les liquides, comme l'eau qui se convertit en glace, le mercure, le vin, le lait qui gèlent également.

Il y a donc opposition entre ces deux causes, la pression qui liquéfie les gaz et solidifie les liquides, et la chaleur qui ne peut que liquéfier les solides et gazéifier les liquides ou vaporiser.

Or, comme on a remarqué que c'est tou-

jours un corps en mouvement qui en met lui-même un autre en mouvement, et qu'un corps en repos ne produit jamais un mouvement, et ne fait quelquefois que l'arrêter et changer sa direction; on a conclu de là que l'état liquide et l'état gazeux produits dans les corps par la chaleur étaient le produit d'un mouvement, et que la chaleur était elle-même un mouvement. Mais quel mouvement?

Car la pression qui liquéfie les gaz et solidifie les liquides est aussi un mouvement qui agit en sens inverse.

D'après les effets observés de la chaleur, on la considère comme un mouvement expansif de l'éther qui vibre avec une certaine vitesse, et qui, par ses ondulations, écarte les molécules des corps les unes des autres; tandis que la pression est toujours un mouvement contractif qui rapproche les molécules, diminue le volume qu'elles occupaient et la distance qui existait entre elles.

Sans doute, quelquefois la chaleur produit elle-même une très-forte pression lorsque, par exemple, la vapeur arrêtée par les chaudières presse les parois des machines à vapeur jusqu'à les faire éclater. Mais ce résultat n'est obtenu que parce qu'un obstacle s'oppose à la diffusion et à la transmission du mouvement calorifique, et qu'en opérant son accumulation elle lui donne une force d'expansion encore plus grande. Ici, la pression est le résultat de circonstances faciles à analyser, et non le caractère même du mouvement.

On peut donc dire qu'en général le mouve-

ment calorifique, tant que sa vitesse et son intensité croissent, est un mouvement d'expansion et une vibration de l'éther qui se propage dans les corps, et détermine entre les molécules une sorte de répulsion, laquelle augmente avec la température et ne cesse de se manifester à nos yeux que lorsque les corps sont arrivés à l'état de vapeurs ou de gaz.

Au contraire, lorsque la vitesse et l'intensité de ce mouvement décroissent par une cause quelconque, il se produit une pression, une contraction, un froid, en un mot, qui n'est que la diminution du mouvement calorifique.

Vitesse du calorique. — La chaleur est donc le résultat des vibrations des molécules des corps chauds; le mouvement que ces molécules possèdent, elles le transmettent aux autres corps au moyen et par l'intermédiaire de la matière subtile qui remplit les interstices de toutes les substances, et qu'on appelle éther; soumis à ces vibrations, l'éther oscille en ondes circulaires; et plus les vibrations sont rapides et amples, plus les corps sont chauds. Lorsque le mouvement se ralentit au contraire, les corps perdent cette qualité et nous apparaissent comme froids.

On comprend avec quelle rapidité doivent se faire ces communications de mouvement, car l'échauffement des corps les uns par les autres se produit pour ainsi dire instantanément. Aussi admet-on que la vitesse du mouvement calorifique est égale à celle du mouvement lumineux, bien que la lumière n'accompagne pas toujours le mouvement ca-

lorifique. La vitesse des vibrations calorifiques serait donc d'un peu moins de 80,000 lieues par seconde.

Intensité calorifique.—Le mouvement calorifique doit également posséder une assez grande force et une puissante énergie pour amener les résultats que nous voyons se produire à l'aide de la chaleur.

Ainsi tous les corps se dilatent sous l'influence de la chaleur. Les corps gazeux se dilatent considérablement, les liquides se dilatent un peu moins, enfin les solides éprouvent aussi des changements dans leur longueur et dans toutes leurs dimensions, qui montrent qu'ils se dilatent par l'effet de la chaleur.

Mais lorsque l'action de la chaleur augmente de durée et d'intensité, ce n'est plus seulement une dilatation qu'éprouvent les corps, c'est un changement d'état. Les solides fortement chauffés deviennent liquides, comme le soufre, et peuvent même être volatilisés, c'est-à-dire réduits en vapeurs; il en est de même des liquides qui facilement sont, comme l'eau, réduits en vapeurs.

Équilibre de température. — Lorsque le mouvement calorifique ou la chaleur pénètre dans un lieu quelconque ou dans un corps, il tend toujours à se répandre également partout et dans toutes les substances, c'est-à-dire à se mettre en équilibre. Ainsi, un corps chaud chauffe les corps voisins jusqu'à ce qu'ils aient la même température; et si ces voisins sont froids, le corps chaud

perd une partie de sa chaleur qu'il communique aux corps froids. C'est pour cela que, lorsque nous nous appuyons sur une surface polie, comme la pierre ou le marbre, dont la température est inférieure à celle de notre corps, celui-ci, en cédant de la chaleur à la pierre pour se mettre en équilibre calorifique avec elle, éprouve une sensation de froid très-prononcée.

On pourrait donc dire qu'il y a dans la nature deux tendances contradictoires : l'une vers l'équilibre ou le repos, l'autre vers le mouvement. Ces deux tendances qui se révèlent dans tous les corps, quelle que soit leur nature, s'engendrent réciproquement, et le mouvement agissant continuellement par suite des ruptures constantes d'équilibres qui tendent toujours à se reformer, semble faire tourner la nature dans un mouvement perpétuel.

Ainsi le mouvement calorifique tend également à se constituer en équilibre, et lorsqu'un corps a été chauffé à une certaine température et qu'il est placé au milieu d'autre corps, air, gaz, etc., dont la température est inférieure et constante, le corps surchauffé perd très-vite une partie de son mouvement et de sa vitesse calorifique, et se met à l'unisson du milieu où il est. La perte qu'il éprouve est proportionnelle à l'excès de mouvement qu'il possédait sur celui du milieu où il est placé. Toutefois, cette proportion n'est exacte que pour les petits excès de température; lorsque les différences sont très-grandes, l'exactitude est moindre. Mais

cependant elle s'applique au refroidissement dans l'air comme dans le vide. Pour qu'il y ait échauffement et refroidissement dans le vide, il faut bien que ce vide ne soit pas trop vide, mais rempli d'une matière très-ténue, l'éther, insensible à nos moyens d'observations.

MESURE DE LA CHALEUR

Thermomètres. — Pyromètres. — Pour mesurer le mouvement calorifique on observe son effet sur les corps qu'il traverse et dont il augmente toujours le volume, lorsque lui-même augmente d'intensité; tandis que ce volume diminue et qu'il y a contraction au contraire, quand le mouvement calorifique décroît et s'éteint. Comme ces effets sont toujours identiques pour un même corps, on les a pris pour base de la mesure du mouvement calorifique.

Les instruments qui servent à mesurer les variations de volume et de température sont les thermomètres (*mesureurs de chaleur*) à liquides ou à gaz, et les pyromètres (*mesureurs de feu*), qui ne servent que pour les températures très-élevées; ces derniers sont formés de corps solides. Les thermomètres à gaz ne servent au contraire qu'à mesurer de très-faibles différences de température, parce que les gaz éprouvent très-aisément de grandes variations de volume et sont sensibles à la moindre action calorifique.

Les thermomètres les plus employés sont ceux à mercure et à alcool ou esprit de vin;

ils consistent en un tube capillaire d'un très-petit diamètre, terminé à la partie inférieure par un réservoir en forme de boule ou par un cylindre arrondi. On y introduit le mercure qui a l'avantage de se dilater à peu près uniformément pour des températures assez éloignées les unes des autres. On a soin d'incliner le tube, afin que la pression diminuant, l'air contenu à l'intérieur du tube capillaire puisse s'échapper. On répète plusieurs fois cette opération, et on parvient à remplir le réservoir entièrement. On fait ensuite bouillir le mercure pour chasser l'air et l'humidité ou vapeur d'eau, et l'on ferme le tube au chalumeau. Lorsque l'appareil est refroidi, le mercure, en baissant dans le tube où l'ébullition l'avait fait monter, remplit une partie de ce tube; et comme il est très-sensible à tout changement de température, il marque avec vérité toutes les variations extérieures de la chaleur.

Pour le graduer, on le place d'abord dans de la glace fondante; le mercure, à cette température, baisse dans le tube, parce qu'il se contracte; le point où il s'arrête est appelé le 0°; ce point est toujours fixe. Puis on place le thermomètre dans de l'eau bouillante, ou plutôt dans la vapeur d'eau en ébullition; on marque, soit sur le tube, soit sur la planche de bois où il est enchâssé, le point où monte le mercure dilaté par cette chaleur, et l'on divise l'intervalle compris entre ces deux points extrêmes en parties égales qu'on nomme degrés. Pour faire un thermomètre centigrade, l'intervalle est divisé en cent degrés, et

pour faire un thermomètre Réaumur, en 80, de manière que, dans le premier cas, le chiffre 100 corresponde à la température de l'eau bouillante, et dans le second cas le chiffre 80. On prolonge ensuite ces divisions au-dessus de 100 et au-dessous de zéro ; les degrés dans ce dernier cas sont indiqués par les chiffres 1, 2, 3 à partir de zéro, mais pour les distinguer, on les fait précéder du signe moins : (—) — 1, — 2 et on les désigne par le nom de 1^o, 3^o, etc., au-dessous de zéro.

Le thermomètre à mercure peut, sans se briser, donner des indications jusqu'à 370° au-dessus de zéro, et depuis — 37° au-dessous de zéro ; au delà de ce dernier chiffre, le mercure se solidifie.

Le thermomètre à alcool, coloré en rouge avec de l'orseille, est moins coûteux et s'emploie pour les températures inférieures à la congélation du mercure ; mais il ne peut marquer de degrés supérieurs à 100, car l'alcool se vaporiserait à cette température et briserait le tube capillaire.

On emploie dans quelques cas particuliers d'autres thermomètres, les uns portant des index, qui indiquent les différences de température de deux lieux différents, les autres sont des thermomètres à air, etc.

Pour rapporter un degré centigrade à un degré Réaumur, il faut multiplier ce degré par $\frac{4}{5}$. En effet, 80° Réaumur valent 100 centigrades, et 1° Réaumur vaudra 80 fois moins,

ou $\frac{100}{80}$ ou $\frac{5}{4}$. Par suite, 10, 20, 40 degrés

Réaumur vaudront 10, 20 fois plus.

15° C, par exemple, valent 12° R, car

$$\frac{15 \times 4}{5} = \frac{60}{5} \text{ ou } 12.$$

Pour rapporter 16° Réaumur à des degrés centigrades, il faut faire l'inverse :

$$1^{\circ} \text{ R} = \frac{80 \text{ R}}{100 \text{ C}} \text{ ou } \frac{4}{5}.$$

Donc

$$16^{\circ} \times \frac{5}{4} = \frac{80}{4} = 20^{\circ} \text{ C},$$

ou

$$\frac{80}{100} \frac{16}{x} = \frac{16}{80} \times 100 = \frac{1600}{80} = 20.$$

En Angleterre, on se sert encore du thermomètre de Farenheit, qui est divisé en 180 parties; le zéro est à 32° au-dessous de la température fixe de la glace fondante; celle-ci est marquée 32, et le point de l'eau bouillante est 212. Pour avoir la correspondance d'un degré de cette échelle au degré correspondant de l'échelle centigrade, il faut d'abord retrancher 32°, puis multiplier le reste par $\frac{5}{9}$, et pour convertir 1 centigrade en Faren-

heit, il faut ajouter 32 et multiplier par $\frac{9}{5}$.

Mais tous ces thermomètres ne peuvent servir pour les températures élevées; c'est le pyromètre qu'on emploie dans ce cas.

Au lieu d'être fondé comme le thermomètre, sur la dilatation des corps, le pyromètre est basé sur le retrait que l'argile éprouve par l'action de la chaleur, et qui croît avec la température. Il consiste en deux règles de cuivre inclinées entre elles de manière à former une sorte de moule; l'une des règles est divisée en 240 parties qui forment les degrés du pyromètre; le 0 paraît correspondre à 500° centigrades. On fait pénétrer entre ces règles un petit cylindre d'argile, qu'on a exposé à la chaleur des foyers dont on veut connaître la température, et on voit par la division à laquelle il s'arrête quel est le degré de contraction que la chaleur du foyer lui a fait éprouver. C'est ainsi qu'on a pu apprécier la chaleur à laquelle fusent les métaux les plus réfractaires.

Thermo-multiplicateur. — Disons encore un mot du thermo-multiplicateur de Melloni, qui est beaucoup plus sensible que les thermomètres. Il est fondé sur la chaleur qui se développe lorsque l'on chauffe deux métaux différents soudés ensemble, chaleur qui produit en même temps un courant électrique.

On soude par exemple l'extrémité d'un barreau d'antimoine à une autre extrémité d'un barreau de bismuth, puis à ce dernier un autre d'antimoine, et ainsi de suite de manière à former un prisme droit à base carrée contenant 25 barreaux de bismuth et 25 d'antimoine. On a ainsi une pile qu'on entoure d'un autre prisme en laiton d'une longueur de 15 millimètres sur un centimètre de côté. On fait ensuite commu-

niquer cette pile avec un cadre en bois recouvert d'un fil de cuivre enroulé de soie, qui va de la pile à ce cadre; celui-ci contient deux petites aiguilles aimantées suspendues à un fil de soie et pouvant se mouvoir sur un cadran circulaire divisé où les mouvements de l'aiguille supérieure sont indiqués par les déviations que lui fait subir le courant électrique né de la chaleur.

Si l'on place un corps chaud sur la pile thermo-électrique, un courant électrique, produit par le mouvement calorifique, s'y développe, passe par les fils de cuivre, arrive jusqu'aux aiguilles et dévie l'aiguille supérieure de sa position nord ordinaire. Elle oscille alors quelques minutes sous l'influence des ondulations électriques, puis se fixe enfin sur une division quelconque qui indique la quantité de mouvement électrique ou d'électricité qu'a développé le mouvement calorifique.

Cet instrument est excessivement sensible; si l'on place la main à 4 ou 5 mètres sur un axe qui touche à la pile, l'aiguille indique un effet très-notable que les thermomètres ordinaires n'accuseraient jamais.

La chaleur traverse le vide. — Le mouvement calorifique est répandu partout, et paraît toujours présent; même alors que nous ne le sentons pas, il existe, avec une puissance plus ou moins grande; le froid lui-même, qui n'est qu'un nom que nous donnons à la diminution du mouvement calorifique, n'est pas l'absence de toute chaleur, mais seulement une quantité moindre de chaleur. La chaleur que nous envoie le soleil en est un

exemple. Elle traverse des espaces célestes où la matière est si raréfiée qu'on peut dire que c'est le vide ; mais c'est le vide ou l'absence des corps gazeux, liquides ou solides que nous trouvons à la surface de la terre, mais non pas le vide de cette matière infiniment plus ténue et plus divisée que l'on appelle éther, et dont les vibrations produisent la pesanteur, la chaleur, la lumière, l'électricité. Aussi la chaleur du soleil traverse-t-elle ces espaces et ce vide, et fait-elle vibrer l'éther qui les remplit.

Le vide que nous pouvons faire avec nos machines se réduit en effet à ôter plus ou moins complètement l'air des espaces fermés où il est ordinairement enfermé ; mais nous n'en pouvons jamais retirer l'éther, matière beaucoup plus divisée, et dont les vibrations donnent lieu aux phénomènes de la chaleur, de la lumière, de la pesanteur, etc.

La chaleur est donc le résultat d'un mouvement continu de l'éther et des molécules des corps chauds ; celles-ci exécutent des mouvements vibratoires, qui se transmettent d'abord à l'éther, puis de proche en proche aux molécules qui composent les autres corps ; absolument de la même manière que les vibrations des corps sonores se communiquent à l'air, puis viennent frapper notre ouïe, qui transmet au cerveau les mouvements qui frappent le nerf auditif, de manière que les mouvements se reproduisent dans les circonvolutions du cerveau, et produisent de simples impressions, des sensations ou des idées.

Séparation des rayons lumineux et des rayons de chaleur. — On croit quelquefois que les corps transparents qui se laissent traverser facilement par la lumière, c'est-à-dire qui vibrent facilement à l'unisson du mouvement lumineux qui les frappe, laissent passer également bien la chaleur. Il n'en est cependant pas toujours ainsi ; certains corps arrêtent le mouvement lumineux et laissent passer le mouvement calorifique, tandis que d'autres arrêtent le mouvement calorifique ou la chaleur, et laissent passer la lumière, ce qui montre que ces deux mouvements, malgré leurs liaisons et leur ressemblance, présentent des différences dans leur intensité et dans leur manière de vibrer.

Ainsi des liquides colorés en rouge brun, comme le chlorure de fer, des huiles jaunes de colza, d'olive, etc., sont bien plus perméables à la chaleur que les liquides transparents, comme l'eau, l'alcool, l'éther, l'acide azotique. Des solides colorés, l'agate, la tourmaline laissent passer beaucoup plus de chaleur que des solides diaphanes qui laissent passer la lumière comme l'alun, mais qui arrêtent la chaleur ; un morceau d'alun d'un millimètre transmet trois fois moins de chaleur que du quartz noirci à ne pouvoir rien distinguer à travers et d'une épaisseur de 86 millimètres. Enfin le verre noir opaque laisse passer les vibrations calorifiques, quoiqu'il intercepte et réfléchisse toutes les vibrations lumineuses.

Il en résulte qu'avec des corps qui absorbent tous les rayons calorifiques et ~~des~~

rayons lumineux, comme l'eau et le verre coloré en vert par de l'oxyde de cuivre, on peut absorber toute la chaleur qu'envoie le soleil, et laisser passer une grande partie de sa lumière. On est alors tout étonné de voir une lumière brillante ne produire aucun effet de chaleur ni sur nous, ni sur le thermomètre, et lorsqu'on concentre cette lumière à l'aide d'une lentille ou verre grossissant, on produit une lumière éclatante qui devrait former un foyer capable d'enflammer les corps combustibles, mais qui, par exception, reste tout à fait sans chaleur. C'est en étudiant la nature des corps qui opèrent cette séparation des deux mouvements calorifiques et lumineux, qu'on peut en connaître la cause.

Effets de la chaleur. — Quand les vibrations calorifiques ont lieu dans un corps, si elles sont rapides et amples, le corps nous apparaît comme très-chaud; mais l'intensité de ces vibrations est très-variable et leurs résultats très-différents.

Un mouvement modéré ne produit dans les solides qu'un allongement passager, une dilatation des molécules; dans les liquides cette dilatation est intermédiaire, mais dans les gaz elle est considérable, et s'opère même avec une certaine régularité.

Mais lorsque l'intensité du mouvement calorifique augmente encore, ce n'est plus une dilatation qui se produit dans les solides. Lorsque l'allongement qu'ils avaient d'abord subi est arrivé à une certaine limite, le lien qui réunissait les molécules disparaît à peu près

ou plutôt diminue de puissance, et il y a changement d'état et d'apparence; le solide devient liquide, il entre en fusion. Quant aux corps qui sont toujours liquides à la température ordinaire ou qui le sont devenus par l'action de la chaleur, un nouveau changement d'état se produit lorsque l'action de la chaleur augmente encore. Le lien qui retenait les molécules unies les unes aux autres se relâche encore, et il y a production de vapeurs, vaporisation ou volatilisation.

Absorption. — Nous savons qu'il y a des corps qui, par leur forme, leur densité plus grande, se prêtent mieux à prendre un mouvement rapide; ainsi une ardoise plate éprouve moins de résistance qu'une pierre à fendre l'air, et une pierre compacte et dense vaincra mieux la résistance de l'air, et fera un plus long chemin qu'un morceau de bois léger lancé avec une même force. De même il est des substances qui favorisent le mouvement calorifique, lui opposent peu d'obstacles, et chez lesquels les vibrations des atomes d'éther s'exécutent avec facilité et rapidité; ces corps, qui paraissent absorber la chaleur, la laissent échapper avec la même facilité; on dit qu'ils absorbent et qu'ils rayonnent de la chaleur, parce que la chaleur semble être transmise par eux en rayons dirigés dans tous les sens.

Quelque serrés que soient les atomes des corps, les espaces qui sont entre eux laissent du jeu et un passage libre aux ondulations calorifiques de l'éther; lorsqu'elles sont ainsi transmises sans obstacle et sans perte, les

corps ne s'échauffent pas. Ce n'est que lorsque les molécules arrêtent les ondes de chaleur, que celles-ci se heurtent entre elles; chaque point d'arrêt devient alors le centre de nouvelles oscillations, et les corps deviennent chauds parce qu'ils ont absorbé du mouvement, ou mieux parce qu'ils vibrent avec persistance.

Dans quelques solides les faisceaux calorifiques passent ainsi sans effet sensible; on en a fait traverser de la glace sans la fondre.

Du reste la chaleur obscure est bien plus facilement absorbée, plus facilement arrêtée que la chaleur lumineuse, par suite de la différence de vitesse de ces deux genres de mouvements.

Dans les gaz, les espaces qu'il y a entre les atomes, sont si grands, les molécules sont si peu pressées les unes contre les autres, qu'il n'y a pas absorption de mouvement calorifique.

L'air est presque aussi transparent pour la chaleur rayonnante que le vide, c'est-à-dire qu'il n'absorbe rien, et que ses atomes sont aussi impuissants que s'ils n'existaient pas à éteindre une seule onde calorifique.

L'oxygène, l'hydrogène, l'azote, se comportent tout à fait comme l'air lorsqu'ils sont purs; mais tous les gaz ne laissent pas ainsi glisser sans obstacle entre leurs atomes les ondulations calorifiques. Le gaz oléfiant, par exemple, les absorbe 2,700 fois plus.

Conductibilité et réflexion de la chaleur. — *Vases, vêtements, ustensiles, etc.* — Si je prends un morceau de charbon et que je le

fasse chauffer, je puis approcher mes doigts assez près du point en ignition sans me brûler ; mais si au lieu de charbon je prends et je fais chauffer un objet en cuivre ou en argent, je m'aperçois que ces corps laissent passer très-facilement la chaleur, et que même à une certaine distance la sensation éprouvée est très-vive. Le plomb et le fer favorisent moins ce passage que l'argent et le cuivre ; mais, comme tous les métaux, ils le favorisent cependant encore plus que les substances minérales, végétales ou animales, pierres, bois, os, etc., qui présentent une structure irrégulière ; il en est de même des terres, des laines, de la soie, de la porcelaine, etc.

Aussi adapte-t-on à tous les vases qui doivent être exposés à une grande chaleur des manches de bois, des poignées recouvertes de paille, ou faites en corne, qui ne laissent pas passer le mouvement calorifique. En été on transporte la glace dans des morceaux épais d'étoffes de laine qui empêchent la chaleur extérieure de pénétrer et de fondre les glaçons.

On construit enfin les cheminées et les fourneaux généralement en briques très peu conductrices de la chaleur, et qui par conséquent renvoient la chaleur qu'elles ont concentrée.

Si l'on raye ou si l'on dépolit la surface d'un corps, on voit ce corps laisser passer une plus grande quantité de chaleur que s'il était resté poli.

C'est que le mouvement calorifique, lorsqu'il tombe sur des corps qui vibrent diffi-

lement ou qui sont peu conducteurs, *se réfléchit*, c'est-à-dire est renvoyé dans la direction d'où il est venu, de même que la balle élastique rebondit sur le mur qu'elle frappe.

Ainsi un miroir poli, par exemple, semble ne pas s'échauffer et renvoyer la chaleur qui tombe à sa surface ; rayé ou sali d'un enduit noir ou d'une couche de noir de fumée, il absorbera ou facilitera le passage du mouvement. La couleur noire, comme les autres couleurs sombres, laisse passer aisément la chaleur ; au contraire, et sauf les cas dus à la nature des substances, le blanc laisse difficilement passer la chaleur ; il l'absorbe moins et rayonne moins par conséquent. Aussi les habits blancs de lin ou de chanvre sont-ils préférables en été, car ils absorbent moins la chaleur et la réfléchissent sans nous incommoder ; en hiver, ils laissent également moins se perdre la chaleur du corps ; aussi les animaux des contrées froides, surtout l'hiver, ont-ils une fourrure blanche, comme celle des ours blancs ; mais comme, en hiver, il y a peu de chaleur extérieure à absorber, les vêtements noirs ont l'avantage d'absorber plus aisément le peu qu'il y a. La laine, la ouate, les fourrures, les édredons sont dans le même cas ; quoique légers, ces corps interceptent le passage de la chaleur, et sont par suite très chauds.

On se sert de ces propriétés pour hâter, par exemple, la fusion de la neige. On répand des cendres noires ou des terres grises sur la neige, et elle fond avec rapidité. On recouvre également l'intérieur des cheminées

de grandes plaques de faïence blanche bien polies, qui réfléchissent toute la chaleur qu'elles reçoivent, tandis que des plaques noires ou grises l'absorbent sans en faire profiter l'intérieur des chambres.

C'est pour la même raison qu'on noircit sans les polir les tuyaux de tôle des calorifères et des poêles, et que les poêles de fonte donnent plus de chaleur que les poêles en faïence; ces derniers sont plus difficilement perméables au mouvement calorifique, mais ils concentrent mieux la chaleur qu'ils ont acquise.

Les meilleurs vases de cuisine sont ceux qui, noircis à l'extérieur, sont au contraire blancs à l'intérieur : la chaleur interne est réfléchiée, tandis que toute celle qui environne le vase est utilisée par son passage à travers les parois noires; si on voulait, au contraire, concentrer toute la chaleur obtenue sans la laisser s'échapper, un vase dont la surface serait polie serait préférable.

Rayonnement de la chaleur. — Tous les corps rayonnent de la chaleur dans tous les sens, autrement dit ils sont tous des centres d'ondulations calorifiques. Deux corps placés dans un même lieu reçoivent donc chacun de la chaleur venue du corps opposé, et ils perdent chacun une partie de leur mouvement calorifique, qui se porte sur le corps voisin; les uns perdent plus qu'ils ne reçoivent, mais ils finissent par recevoir une partie de ce qu'ils ont perdu par suite des réflexions ondulatoires, et il en résulte entre les deux corps un équilibre de température;

les mouvements calorifiques paraissent alors arrêtés.

Plus la surface d'un corps est grande, plus la chaleur qu'il émet est considérable, parce que le mouvement calorifique nécessaire pour échauffer d'un degré une plus grande masse, doit être plus considérable que pour échauffer au même degré une petite masse; par conséquent, lorsque ce mouvement sort de ces corps, il doit présenter au thermomètre une différence notable.

Le résultat varierait et serait inverse si la densité de la plus grande surface était moindre que celle de la plus petite.

Transmission de la chaleur. — Les corps transmettent et émettent d'autant plus de la chaleur qu'ils reçoivent qu'ils en absorbent plus, et ils en réfléchissent d'autant plus qu'ils en absorbent moins.

Le poli n'augmente pas la quantité de chaleur émise par un corps; c'est la diminution de densité de ce corps qui accroît cette quantité. Aussi en rayant une plaque de cuivre, elle émettra plus de chaleur que si elle reste brillante et polie. Une lame d'argent fondue, polie, rayée, est plus dense et émet plus de chaleur que la même lame écrouie, parce que l'écrouissage diminue la densité des parties extérieures, tout en rapprochant les parties extérieures des intérieures. Tout ce qui diminue la densité de l'argent, du cuivre, de l'étain, du fer, comme la fonte, par exemple, augmente le pouvoir émissif de ces corps; aussi les oxydes ont-ils une faculté d'émettre plus de chaleur que les métaux.

Usage des fourrures. — Doubles fenêtres. —
Dans les gaz, comme l'air, ainsi que dans les liquides, le mouvement calorifique se répand avec une grande rapidité, parce que des courants s'établissent; les parties le plus tôt échauffées montent, les autres descendent et toute la masse est bientôt en équilibre. Mais on peut ralentir cette communicabilité qui fait de suite perdre toute la chaleur, par l'interposition de corps légers : édredon, duvet, qui empêchent la production des courants; dès que l'air est tranquille ou immobile, la conductibilité est insensible. Aussi quand on le chauffe par en haut, s'échauffe-t-il très-peu, car les courants ne se produisent presque point.

On comprend dès lors l'usage de toutes les matières organiques, fourrures, tissus de coton, de laine, pour garantir du froid; comme le mouvement calorifique n'est pas conduit facilement par ces corps, il n'y a pas de courants aériens produits, et la chaleur peut se concentrer sous les corps ainsi couverts. Les doubles fenêtres ont le même résultat; la couche d'air interposée entre chaque fenêtre empêche les courants de se produire; l'air est d'ailleurs plus mauvais conducteur que les vitres; il n'y a donc pas de refroidissement par conductibilité, ni par rayonnement ou sortie de la chaleur, car l'air enfermé entre les deux fenêtres est moins froid que l'air extérieur.

Du reste, le verre présente sous le rapport calorifique des propriétés curieuses; ainsi il laisse passer facilement les rayons calorifiques

d'une température élevée et lumineuse, comme ceux qui viennent du soleil; tandis qu'il n'est pas traversé et ne conduit pas les rayons calorifiques obscurs.

Grâce à cette propriété, la chaleur du soleil pénètre à travers les vitres dans nos appartements, tandis que la chaleur intérieure de nos foyers, poêles, calorifères, ne peut se transmettre au dehors par ces mêmes vitres.

Aussi les serres où l'on conserve les fleurs sous une haute température se construisent-elles toujours en verres qui absorbent la chaleur solaire et concentrent la chaleur interne. A l'aide de ce seul moyen, on peut concentrer beaucoup de chaleur, car dans une caisse en bois fermée par plusieurs vitres parallèles posées à 1, 2, 3 centimètres de distance, et exposée au soleil, la température s'élève jusqu'à 120°.

Rayons obliques de chaleur. — Que ce soit le soleil ou un corps échauffé ou brûlant qui nous envoient leur chaleur, nous la sentons de tous les côtés, car elle se répand en ondes autour du corps échauffé, et de quelque côté qu'on soit placé, on se trouve toujours sur le passage d'un rayon calorifique.

Mais toutefois, plus les rayons qui partent d'un corps chaud, pour arriver jusqu'à nous, sont obliques, c'est-à-dire moins ils nous arrivent directement, si nous sommes en face, moins grande est la chaleur que nous ressentons. Devant un foyer, c'est en face, au milieu de ce foyer, et non de côté que la chaleur est plus grande. C'est là en partie la cause de

l'augmentation de chaleur en été et de sa diminution en hiver. En été, nous sommes plus loin du soleil, mais ses rayons tombent sur nos contrées directement, tandis qu'en hiver nous sommes, il est vrai, plus près du soleil, mais à cause de sa position vis-à-vis de nous, ses rayons nous arrivent obliquement, et par suite la chaleur reçue est moins considérable.

Absorption de la chaleur par les gaz. — Généralement la puissance d'absorption de la chaleur par un gaz, dépend de sa densité. Ainsi la vapeur d'éther sulfurique absorbe deux fois plus de chaleur que le gaz oléifiant, tandis que la densité de celui-ci peut-être encore diminuée, sans que la porte ou l'espace entre ses atomes soit assez large pour laisser passer les ondulations. Il doit y avoir dans la constitution de ces molécules gazeuses quelque chose qui les rende capable de détruire les ondes calorifiques; mais, du reste, cette destruction n'est qu'une transformation, car chaque onde soustraite produit un mouvement équivalent dans la masse du gaz qui l'absorbe et par suite élève sa température.

Dans l'air sec le passage s'effectue sans échauffement sensible.

Dilatation. — Lorsque le mouvement calorifique pénètre dans les corps, il se passe différents phénomènes. Une partie de ce mouvement traverse les corps ou certains corps sans s'y arrêter, s'ils ne mettent pas d'obstacle à ce mouvement ou s'ils sont bons conducteurs. Comme ce mouvement conti-

nue sa route et se transmet bientôt aux corps environnants, la chaleur devient sensible pour les êtres ou les objets qu'elle rencontre ensuite; c'est alors que nous la sentons.

Dans les corps qui s'opposent au passage du mouvement ou aux vibrations calorifiques, une partie et quelquefois tout le mouvement se concentre, élève la température des molécules, détruit à moitié leur cohésion et leur liaison; enfin, une partie sert à distendre ces molécules, à allonger le corps; en un mot, à le dilater.

Cette dilatation varie pour chaque corps.

Ainsi le verre se dilate de $0^m,00008613$; l'acier non trempé, de $0,00010788$; la fonte, de 41250 cent millionièmes; le fer forgé, de 42204 ; l'acier trempé, de 42395 ; le bronze, de 48467 ; le cuivre jaune ou laiton, de 48782 ; l'étain, de 21730 ; le plomb, de 28575 ; le zinc, de 29417 ; l'or, de 44660 , et l'argent, de 49097 .

Ces nombres se rapportent à la dilatation dans un seul sens, celui de la longueur; cette dilatation serait triple ou trois fois plus forte, si on voulait la calculer dans tous les sens.

Au delà de 100° , jusqu'à 200 , 300 , et jusqu'au point de fusion, cette dilatation n'est plus la même; tandis que pour chaque degré, le fer, par exemple, se dilate de $0,000042204$, ce qui donnerait pour 50 degrés environ $0,0006$ dix millièmes; ce nombre augmente à mesure que la chaleur augmente et la dilatation croît sensiblement.

Il y a cependant une nouvelle exception

à cette remarque, c'est l'acier trempé; sa dilatation croît bien avec la température, mais seulement jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle sa dilatation décroît, ce qui tient à la trempe qu'il a subie.

Il importe, néanmoins, de tenir grand compte, dans les constructions d'appareils construits avec les matières de ces dilata-tions, et de laisser des espaces entre les di-verses parties des appareils qui permettent le libre jeu de la dilatation.

Ainsi, les rails des chemins de fer ne doi-vent pas se toucher, mais être légèrement espacés, afin que la dilatation en les rappro-chant ne puisse ni les courber, ni briser les coussinets. Il faut agir de même partout où l'on encastre des pièces de métal dans des parties solides, et leur laisser du jeu au moins à une de leurs extrémités.

Fusion. — Presque tous les corps solides soumis à une haute température se liquéfient et passent par l'état ap pelé *fusion*.

Cepen tant des substances comme le bois, la laine, la peau, etc., qui sont composées de plusieurs corps, ne peuvent fondre de la même manière, parce qu'ls sont de suite décomposés, oxydés ou brûlés par l'action d'un mouvement calorifique puissant. Mais les corps simples, solides, ont tous été fondus, excepté le carbone (ou le charbon pur) qu'on n'a encore pu que rendre flexible.

Les corps, soufre, étain, plomb, fondent toujours à la même température.

Le mercure à....	— 40°	Le zinc à.....	360
La glace à.....	0	L'argent à.....	1000
Le sel marin à...	+ 29	La fonte blanc. à.	1100
Le suif à.....	44	La fonte grise à.	1200
La cire jaune à..	61	L'or à.....	1250
La blanche à....	69	L'acier à.....	1350
Le soufre à.....	111	Le fer doux à....	1500
L'étain à.....	228	Le platine à.....	2000
Le plomb à.....	326		

Lors donc qu'on voit fondre un de ces corps, on peut reconnaître la température et la chaleur qu'on a produites.

Toutefois, ces nombres ne sont exacts que sous la pression ordinaire de l'atmosphère. Si on augmente cette pression par un moyen quelconque, il faut plus de chaleur pour produire la fusion et contrebattre l'effet de la pression. Au contraire, lorsque la pression augmente, le point de fusion de la glace baisse. Il n'y a donc rien de stable dans ces appréciations, ou plutôt il faut toujours tenir compte des actions contraires, c'est-à-dire de la pression qui marche en sens opposé de la chaleur.

Peut-être les corps les plus difficiles à fondre sont-ils également ceux qui, dans le globe, ont été formés par la plus haute pression.

Froid. — Lorsque la chaleur diminue, que le mouvement calorifique se ralentit, nous sentons ce que nous appelons le froid, qui n'est qu'une diminution de mouvement calorifique.

Mais ce froid est souvent produit par des causes qui ordinairement produisent de la chaleur. Ainsi l'air très-dilaté par la chaleur

et la diminution de pression qu'il subit dans les hautes couches de l'atmosphère, produit un froid considérable qui, sur les hautes montagnes, est la cause des neiges perpétuelles, et qui a été de même constaté dans les ascensions aérostatiques.

La vaporisation d'un liquide se produit en général par l'effet de la chaleur ; mais quelquefois elle se produit par d'autres causes : ainsi dans le vide on voit l'eau bouillir et les bulles d'air qu'elle contient en sortir avec bouillonnement, par suite de la diminution de pression qu'elles supportent. Dans des actions chimiques, il y a de même évaporation ; dans ces cas le liquide lui-même ne s'échauffe pas, mais la vapeur qui se forme ôte à ce liquide toute la chaleur dont elle a besoin pour rester en vapeur, de sorte que le liquide éprouve un abaissement très-marqué de température, et si la volatilisation rapide se prolonge, le froid ainsi produit devient considérable et peut amener le liquide à se congeler par perte de mouvement calorifique.

Dilatation par le froid.—Toutefois, le froid ne produit pas toujours une contraction continue ; ainsi, l'eau, en se solidifiant en glace, ne se contracte que jusqu'à 4° ; au-dessous de ce point elle se dilate au contraire du 14° de son volume, en sorte que la glace ainsi formée occupe plus de place que l'eau qui l'a produite ; son volume augmente, mais sa densité diminue, c'est-à-dire qu'elle contient moins de matière qu'un même volume d'eau. Aussi dans sa congélation l'eau brise-

t-elle les enveloppes les plus résistantes, les pierres qui la renferment, et même des canons ou des bombes de 2 centimètres d'épaisseur. Par suite de cette dilatation, la glace se trouve plus légère que l'eau et peut flotter à la surface de ce liquide.

La fonte de fer, le bismuth et l'antimoine avec lesquels on fait l'alliage des caractères d'imprimerie, se dilatent comme l'eau en se solidifiant. Aussi importe-t-il, lorsqu'on veut les couler dans des moules, de tenir compte de cet effet, et de verser moins de matière qu'il n'est nécessaire pour remplir les moules, puisque par leur dilatation ils rempliront l'espace libre.

Au contraire il faut laisser plus de matière ou calculer l'effet de la contraction avec presque tous les autres corps, qui se condensent et diminuent de volume par le refroidissement.

Retard de congélation. — Du reste, on peut retarder assez facilement le moment où l'eau gèle, soit en la privant de l'air qu'elle contient à l'aide de la machine pneumatique, soit en l'agitant au contraire violemment ou en la comprimant d'une manière très-puissante. Enfermée dans des tubes très-fins, comme les vaisseaux capillaires des plantes, elle peut être soumise à un froid de 16 degrés sous zéro, sans se congeler, ce qui explique la résistance de certaines plantes à la gelée.

Froid par les mélanges. — Comme les corps solides ne passent à l'état liquide qu'au moyen d'une certaine quantité de mouvement calorifique qui les pénètre, il en résulte qu'en

mélangeant deux substances qui ont de l'affinité l'une pour l'autre, pourvu que l'une soit solide, l'autre liquide, la matière solide reçoit du liquide un mouvement calorifique qui la fond, il est vrai, mais qui produit un abaissement de température dans le corps liquide.

Quand on mélange un kilogramme d'eau à zéro avec un kilogramme d'eau à 79 degrés, on a deux kilogrammes d'eau dont la température est la moitié de 79 degrés ; c'est-à-dire $39^{\circ} \frac{1}{2}$; une moitié de la chaleur de l'eau chaude a servi à élever de 39 degrés l'eau à zéro, l'autre moitié a conservé ses 39 degrés de chaleur, et l'équilibre de température s'est ainsi trouvé produit.

Si au lieu d'eau on prend 1 kilogramme de glace, toujours avec 1 kilogr. d'eau à 79 degrés, la glace en se fondant absorbe tout le mouvement calorifique qu'avait reçu l'eau à 79 degrés, et on a 2 kilogr. d'eau à zéro, l'un ayant gagné, l'autre perdu toute la chaleur représentée par 79 degrés. Il faut donc à la glace, pour fondre et venir à zéro, un mouvement calorifique capable d'élever à 79 degrés un kilogramme d'eau.

Mélanges réfrigérants. — Il est donc facile d'obtenir de la glace en toutes saisons, à l'aide de glaciers artificielles et de mélanges réfrigérants, formés de mélanges d'un solide et d'un liquide. Ainsi 2 parties de neige ou de glace pilée et 1 de sel marin produisent un froid de -18° ; on entoure avec ce mélange un cylindre de métal contenant la substance liquide, sirop, eau, etc.,

à congeler; on enveloppe le tout d'abord dans un autre cylindre contenant de l'eau, puis dans un 4^e où l'on a placé un corps qui ne peut conduire la chaleur extérieure, comme le coton ou la laine; on remue le mélange réfrigérant, et l'on obtient dans la partie centrale un bloc de glace du liquide qu'on voulait congeler.

On peut remplacer le mélange réfrigérant ci-dessus par un mélange de 8 de sulfate de soude et 5 d'acide chlorhydrique, ou de 3 de sulfate de soude et 2 d'acide azotique et d'eau; ou de 6 de sulfate de soude, 5 d'azotate d'ammoniaque et 4 d'acide azotique et d'eau, qui donnent des froids de 17, 18, 19, 26 degrés.

C'est ainsi que l'appareil Carré produit à volonté de la glace en été. Un mouvement de bascule est souvent donné au cylindre contenant le mélange, afin d'activer la congélation.

Liquéfaction des vapeurs et des gaz. — Non-seulement les vapeurs peuvent être facilement liquéfiées, mais les gaz, qui nous paraissent constamment à l'état gazeux, peuvent, à l'aide d'une plus forte pression et d'un grand froid, être aussi liquéfiés. Mais ces gaz, qui ne sont que des vapeurs très-dilatées, sont très-loin du point de leur liquéfaction, il faut donc faire concourir les deux actions compressives du froid et de la pression.

On se sert pour cela de tubes de verre ou de cylindres en fonte où le gaz produit se comprime et se liquéfie lorsqu'il arrive dans la partie fermée et plongée dans un mélange réfrigérant.

Solidification des gaz. — C'est par ce moyen qu'on est parvenu à liquéfier et même à solidifier des gaz qui exigeaient pour cela les plus hautes pressions. Ainsi, l'acide carbonique liquide, projeté dans un vase de verre, se solidifie en des flocons blancs et pulvérulents, parce qu'une partie du liquide se volatilise, et en se volatilisant il absorbe toute la chaleur que contient l'autre partie, qui, par cet abandon calorifique, est amené à l'état solide, et subit des pressions égales à 75, 120, 130 atmosphères.

Vaporisation. — La plupart des corps solides ou liquides peuvent donner des vapeurs, s'évaporer et se vaporiser, sauf peut-être les huiles grasses, qui à aucune température ne donnent de vapeurs. Des solides, le camphre, le phosphore, la glace, l'arsenic, les matières odorantes, donnent des vapeurs sans même être liquides, à la température ordinaire. Presque toutes ces vapeurs sont transparentes, incolores, comme les gaz et les particules très-divisées que contient l'air ; cette propriété de s'évaporer à peu près à toute température, ou du moins au-dessous du point d'ébullition et en deçà d'un certain refroidissement, est presque générale.

Evaporation. — Notre corps conserve en toute saison une chaleur intérieure d'environ 37°, précisément par suite de l'évaporation. En été, où nous transpirons plus, l'évaporation est plus considérable qu'en hiver, et l'équilibre se maintient par cette seule cause.

L'eau des lacs, rivières, mers, s'évaporent de même, comme nous l'avons vu, et plus

l'air est en mouvement et échauffé, plus l'évaporation est rapide. Aussi soufflons-nous sur la soupe pour hâter son refroidissement par évaporation.

Alcarazas. — Les alcarazas rafraîchissent l'eau également par l'évaporation. Ces vases de terre poreux laissent filtrer l'eau à leur surface, où elle s'évapore peu à peu, en absorbant pour se vaporiser une partie de la chaleur qui servirait à échauffer le liquide.

Ebullition. — Mais ce n'est que lorsque l'ébullition a été déterminée par un mouvement calorifique suffisant que les vapeurs prennent une grande force élastique; elles exercent alors de tous les côtés des pressions considérables, dont on peut avoir une idée en voyant ce qui se passe dans les machines à vapeur.

On peut même déterminer l'ébullition dans un liquide à l'aide de la seule chaleur de la main. Voici comment : on fait bouillir de l'eau dans un tube réuni à une boule par un autre petit tube à diamètre très étroit. L'eau en bouillant entraîne tout l'air contenu dans la boule, dans les tubes et dans l'eau. On ferme alors en le fondant l'extrémité du tube. L'eau se trouve entourée de vide, ou plutôt n'est pressée que par sa propre vapeur; il suffit de poser la main sur la boule, pour que la chaleur vitale donne à la vapeur une tension qui suffit à déterminer une assez forte ébullition dans l'eau.

Variation du point d'ébullition et de cuisson. — De même que la fusion est retardée par l'action de la pression qui agit en sens inverse du mouvement calorifique, de même l'ébullition, qui dans les circonstances ordinaires a

toujours lieu à la même température, peut être retardée par la même cause.

On sait, en effet, que la vaporisation ou la réduction de l'eau en vapeur par le mouvement calorifique n'est pas un phénomène calme comme l'évaporation; la vitesse de vibration est fort augmentée, et la vaporisation est par suite accompagnée de trépidation et d'un soulèvement de globules très-légers de vapeur et d'air qui se forment dans toute la masse et s'élèvent par suite de leur légèreté.

Le bruit qui accompagne le bouillonnement est dû au dégagement de l'air et des gaz en dissolution dans l'eau, qui sortent avec un frémissement, et même avec un sifflement réel si l'ouverture de sortie est très-étroite. Et comme certaines bulles de vapeur n'arrivent pas à la surface, parce qu'elles rencontrent, sur leur route, au début de l'ébullition, des couches d'eau froide qui les condensent subitement, toute la masse vibre et bruite par ces condensations successives.

La même pression atmosphérique pesant sur tous les liquides, ceux-ci, pour faire équilibre à cette pression, doivent émettre lors de leur ébullition des vapeurs qui aient toujours une force égale et capable de soulever la pression atmosphérique. Ceci explique pourquoi les corps qui sont différemment volatils ont des points d'ébullition différents, c'est-à-dire qu'ils ont besoin d'un mouvement calorifique plus ou moins grand pour équilibrer ou pour dominer la pression atmosphérique, selon la facilité avec laquelle ils passent à l'état de vapeur, ou subissent

l'action de la chaleur, et selon leur résistance au mouvement calorifique. Ainsi 1 litre d'eau vaporisé produit 1,696 livres de vapeur; les molécules sont donc écartées les unes des autres 12 fois plus dans la vapeur que dans le liquide.

Mais si l'on fait varier la pression supportée par le liquide, les points d'ébullition vont changer, parce que le mouvement calorifique aura à vaincre une nouvelle et plus grande résistance.

Si par exemple on place de l'eau sous une pression atmosphérique moitié moins dense que la nôtre, de 380 mill. au lieu de 760 mill., l'eau au lieu de bouillir à 100°, devra bouillir beaucoup plus tôt à 82°, parce qu'à cette température la vapeur fait équilibre à la pression, car elle a alors une tension de 380 mill. Sous une atmosphère encore plus raréfiée et moitié moins dense ou moins lourde, l'eau devra bouillir à 66°. Il ne nous serait plus possible de cuire à l'air, dans une telle atmosphère, la viande, les légumes, etc., parce qu'ils ont besoin pour cuire de plus de 66°.

C'est ce qui arrive sur les hautes montagnes; sur le mont Blanc l'eau bout entre 85° et 90°, parce que la pression est moindre, parce que la hauteur de l'atmosphère est diminuée, et surtout que cette atmosphère est moins dense; par suite le point d'ébullition est fort avancé. En plaine, l'eau bout à une température plus élevée que sur les montagnes, mais moindre que dans les mines profondes où elle est plus pressée par un air plus dense.

Dans le vide enfin, où l'air est très-raréfié et très-peu dense, l'eau bout bien avant 100°; elle peut bouillir à 20°, à 10°, lorsque la pression de l'air n'est plus que de 17 mill. ou de 9 mill., parce qu'alors le mouvement calorifique ne rencontre pas d'obstacle dans un mouvement ou une pression contraire; plus on s'élève dans l'atmosphère, plus donc l'eau doit bouillir facilement.

On peut aussi facilement agir en sens inverse, et en augmentant la pression de l'air sur les liquides retarder et non plus avancer le point d'ébullition.

En effet, figurons-nous que le piston d'une pompe comprime l'eau; il est évident que le mouvement calorifique aura plus de résistance à vaincre et dans le liquide et dans le piston, pour produire de la vapeur d'eau. L'eau comprimée sera en effet plus dense, de même qu'un solide est plus difficilement fusible et moins volatilisable qu'un liquide.

Il faudra donc plus de chaleur pour avoir le même effet d'ébullition.

Aussi, dans une chaudière bien fermée, on peut ne jamais parvenir à faire bouillir l'eau, parce que la pression de la vapeur sur le liquide se joint à la force calorifique qui presse les vapeurs, et ces pressions croissent avec la température; de sorte qu'on peut dépasser de beaucoup la température de l'ébullition sans avoir produit beaucoup de vapeur réelle.

Mais lorsque l'eau contient des corps en dissolution, son point d'ébullition est changé, parce que le mouvement calorifique doit

aussi se communiquer à ces corps, et selon qu'ils sont plus ou moins volatils, ce point est avancé ou reculé.

Ainsi, avec du sel ordinaire, l'eau ne bout plus qu'à 109°; avec du carbonate de potasse, qu'à 140. Avec de l'alcool très-volatil, le point d'ébullition est au contraire avancé.

Il est, au contraire, dans les vases de verre retardé d'un degré et demi sur les vases de métal.

Marmite de Papin. — Autoclave. — C'est au moyen de retards semblables, causés par une forte pression, qu'on supprime l'ébullition dans les marmites de Papin, les autoclaves, etc.; on fait alors cuire beaucoup plus vite dans ces ustensiles que dans les marmites ordinaires, les viandes ou légumes qui servent d'aliments. Comme la température s'y élève aussi considérablement, on s'en sert pour extraire des os, qui la contiennent en abondance, la gélatine qui peut servir à la nourriture; la colle-forte se tire de la même manière des débris d'animaux, mais c'est une gélatine dont il est impossible de se nourrir.

Il importe seulement que les parois de ces appareils soient bien résistantes pour ne pas céder aux pressions considérables qu'elles supportent. Du reste, elles sont fermées par un couvercle, ayant une soupape de sûreté qui permet à la vapeur de passer lorsqu'elle a une tension et une force élastique à laquelle les parois ne pourraient résister. Un poids, calculé sur la force de résistance des parois et sur la pression qu'elles peuvent supporter,

maintient cette soupape fermée, tant que la vapeur n'a pas atteint une tension dangereuse; il est au contraire soulevé et la vapeur s'échappe avec un sifflement qui avertit de modérer l'action du feu, quand la vapeur est trop pressée dans l'appareil.

Etat sphéroïdal. — *Glace produite dans le feu.* — Quand on plonge une boule de cuivre chauffée au rouge dans un bassin d'eau, il se produit un bruit assez intense, dû à la production de la vapeur. Toutefois on peut remarquer que, au début l'eau ne touche pas la boule; mais lorsque la boule s'est un peu refroidie, le liquide la touche de tous les côtés, alors l'ébullition devient excessivement violente, l'eau est projetée de tous les côtés hors du vase, tandis qu'avant, sa vaporisation était faible, calme et lente. Il semble que les vibrations calorifiques de la boule rougie repoussaient d'abord par leur grande intensité l'eau qui l'entourait, et que ce n'a été que lorsque ces vibrations ont diminué d'énergie, ou lorsque concentrées par la résistance de l'eau, elles ont augmenté de tension et de puissance élastique, que l'eau a pu donner passage au mouvement calorifique.

Grâce au même phénomène, on peut passer la main humectée d'eau à travers un large jet de métal fondu sans crainte de brûlure. M. Boutigny (d'Evreux), à qui l'on doit d'excellents et nombreux travaux sur ce sujet, fait avec son doigt mouillé jaillir d'un creuset du métal en fusion. Un forgeron peut, sans se brûler, lécher avec sa langue du fer chauffé au blanc, car la vapeur de sa salive

développée par la chaleur, préserve sa peau du contact du fer. Au moyen âge, où l'on faisait subir aux condamnés les épreuves du feu, pour constater leur innocence, il arrivait quelquefois qu'un condamné réussissait à se retirer sans brûlure de l'exposition à un brasier ardent, grâce à des moyens de la nature de ceux que nous rapportons. Les geôliers faisaient de ces moyens des secrets qu'ils vendaient cher, et qui se conservaient cachés dans les prisons, mais qui sauvaient toujours quelques êtres, innocents ou coupables, des jugements ignares ou iniques de juges aveugles et stupides.

On peut ainsi faire congeler de l'eau ou du mercure dans de petites coupes de platine chauffées au rouge, et avoir par conséquent de la glace au milieu du feu. On se sert pour cela d'acide sulfureux ou de gaz acide carbonique solidifié, qu'on place au milieu du creuset de platine chauffé au rouge blanc; ces corps n'arrivent pas en contact avec le platine; ils en sont séparés par une atmosphère de vapeur, et leur température est inférieure à celle de leur ébullition; l'acide sulfureux est par exemple à moins 10°,5 sous zéro. On comprend donc comment une petite fiole d'eau, placée au milieu de cet acide sulfureux, se congèlera, malgré la température très-élevée de la capsule de platine.

Le mouvement calorifique ne traverse et ne pénètre pas l'eau lorsqu'elle est dans cet état sphéroïdal ou globulaire, ce qui explique la lenteur de la vaporisation de l'eau.

Machines à vapeur. — Lorsque l'eau bout,

elle produit une vapeur qui possède une force d'expansion tellement grande, que si dans nos cuisines nous faisons bouillir l'eau dans des vases complètement fermés qui ne laisseraient aucune issue à la vapeur, ces vases éclateraient bientôt, et leurs débris seraient projetés de tous côtés.

Mais si l'on donne à l'eau bouillante renfermée dans une cavité fermée une issue régulière peu considérable, on aura, à la sortie de cette vapeur, une très-grande force développée; on peut s'en assurer en présentant des corps légers à la sortie de la vapeur d'une bouilloire qui n'a qu'une petite ouverture; on les voit projetés au loin avec force.

Tel est le principe des machines à vapeur.

Dans la machine atmosphérique, on fait vaporiser l'eau au moyen d'un foyer, dans une chaudière, qui communique avec un cylindre en fonte contenant un piston.

Lorsque la vapeur est passée de la chaudière dans le cylindre, elle presse le piston, fait équilibre à la pression atmosphérique qui pousse le piston vers le bas du cylindre, et elle soulève le piston. Celui-ci est pourvu d'une tige fixée ou articulée à l'extrémité d'un balancier qui, à son autre bras, porte un poids calculé.

Lorsque le piston est relevé par l'arrivée de la vapeur sous sa face inférieure, le contre-poids agissant sur le balancier fait basculer celui-ci qui enlève le piston. Alors, à l'aide d'une soupape qui se ferme, le cylindre cesse de communiquer avec la chaudière, tandis qu'au contraire, à l'aide d'une autre

soupape qui s'ouvre, elle entre en communication avec un condenseur; ce condenseur est une cavité remplie d'une eau froide, qui par son contact avec la vapeur, détermine la liquéfaction ou la condensation de celle-ci. Le piston n'étant plus soutenu par la vapeur redescend par suite de la pression atmosphérique qui reprend le dessus et recommence à agir sur lui.

Quand il est redescendu au bas du cylindre, la communication avec le condensateur se ferme, celle de la chaudière s'ouvre, la vapeur se répand de nouveau dans le cylindre, soulève le piston qui recommence alternativement son mouvement de va-et-vient, toujours soulevé par la vapeur et repoussé par la pression atmosphérique.

On comprend que l'espèce de levier ou de balancier auquel est lié le piston prend également un mouvement de va-et-vient, selon que le piston monte ou descend. On fait communiquer ce balancier avec une bielle ou une manivelle, qui transforme le mouvement de va-et-vient en un mouvement circulaire continu, analogue au mouvement de la meule du rémouleur, laquelle prend un mouvement de rotation continu, à l'aide d'un simple mouvement alternatif du pied.

Cette manivelle se lie à une tige ronde, appelée *arbre de couche*, qui transmet le mouvement aux roues des locomotives ou des bateaux à vapeur, aux scies qui doivent fendre le bois, aux machines qui doivent le percer, aux turbines qui doivent élever l'eau, en un mot, à tous les organes mécaniques,

quels qu'ils soient, qui peuvent remplacer le bras de l'homme.

On se sert également du mouvement du piston pour entraîner un poids d'eau égal à la pression que la vapeur lui fait supporter, et c'est ainsi qu'on épuise l'eau des mines ou de tout autre endroit à mettre à sec.

C'est précisément une machine de cette nature que Salomon de Caus avait imaginée en 1615.

De la vapeur d'eau produite dans un ballon n'avait d'autre issue qu'un tube rempli d'eau, et la vapeur, pour se frayer un passage, projetait cette eau en jet assez fort.

La machine dont nous venons de parler est appelée machine atmosphérique, parce que c'est plus encore la pression de l'air que la force de la vapeur qui lui fait produire un effet utile. Elle ne produit pas de force lorsque le piston s'élève, elle n'en a que lorsque le piston descend, et le mouvement que celui-ci transmet est irrégulier, très-rapide pendant la descente, insensible pendant la montée. Pour rendre son effet continu, on fait arriver la vapeur sur le côté dans un premier cylindre, qui communique avec le cylindre où se meut le piston, par deux tubes situés, l'un en haut, l'autre en bas. Un tiroir glisse dans le premier cylindre et ferme alternativement les deux ouvertures des tubes. Lorsque ce tiroir est abaissé, la vapeur sort du premier cylindre par en haut, passe dans le second au-dessus du piston, le presse et le fait descendre; celui-ci repousse dans le deuxième tube du bas et dans le tiroir la va-

peur qui était sous lui, et cette vapeur se rend par un tube spécial dans l'air ou dans le condensateur, selon la nature et le but de la machine. Puis le tiroir remonte et la vapeur du premier cylindre, au lieu de passer par le haut, se rend par l'ouverture inférieure sous le piston qu'elle force à remonter et à chasser la vapeur qui l'a fait descendre dans le premier cylindre; de là, la vapeur s'écoule également dans l'air ou dans le condensateur.

C'est donc ici le mouvement alternatif du tiroir qui fait monter et descendre le piston avec une force qui est presque toujours la même dans les deux cas.

Cependant il se produit dans ces machines des chocs considérables, lorsque le mouvement accéléré du piston le fait frapper les extrémités du cylindre ou du corps de pompe. C'est une cause de détérioration très-considérable. Aussi a-t-on imaginé des machines à *détente*, où la vapeur n'arrive que pendant une partie de la course du piston, la première partie par exemple. Le piston continue à se mouvoir dans la deuxième partie, par suite de l'action de la vapeur et de sa vitesse acquise, mais non plus avec la même force ni la même vitesse; on évite de cette manière, par l'emploi de la dilatation ou de la détente de la vapeur, les chocs et les ébranlements, et la dépense d'une trop grande quantité de chaleur.

FIN DU PREMIER VOLUME.

Paris. — Imprimerie de Dubuisson et C^e, rue Coq-Héron, 5.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

L'ÉCOLE MUTUELLE
COURS COMPLET D'ÉDUCATION POPULAIRE

PHYSIQUE

PAR

Gustave FRANCOLIN

PROFESSEUR DE SCIENCES PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES

TOME SECOND

PARIS
AUX BUREAUX DE LA PUBLICATION
5, RUE COQ-HÉRON, 5

1866

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

PHYSIQUE

SOURCES DE CHALEUR.

(Suite)

Machines à double effet. — Les machines à vapeur à double effet font elles-mêmes leur provision d'eau par le moyen d'une pompe; elles ferment et ouvrent à temps leurs diverses soupapes à l'aide d'une tringle fixée au balancier, lequel lui communique un mouvement de va-et-vient. Par conséquent, elles n'ont besoin que d'une personne chargée d'entretenir le feu, pour fonctionner convenablement, avec une force de 30 à 50 chevaux.

Les chaudières où l'eau échauffée est réduite en vapeur, ont reçu différentes formes qui varient selon les besoins. A l'origine, elles étaient sphériques et n'offraient au foyer qu'une faible surface, ce qui était peu favorable à la production de la chaleur. Aujourd'hui, elles ont généralement la forme d'un cylindre allongé, à faces convexes, terminé par des demi-sphères, afin de pouvoir

résister aux pressions qu'elles supportent. Deux autres cylindres plus petits, appelés *bouilleurs*, mais de même longueur, communiquent avec la chaudière, et le foyer incandescent est établi de façon que la flamme touche tour à tour les diverses parties de la surface de chauffe.

On emploie cependant aussi : 1^o des chaudières sans bouilleurs ; 2^o des chaudières traversées par un tuyau cylindrique qui contient au milieu le foyer ; 3^o et plus fréquemment, des chaudières contenant un assez grand nombre de petits tuyaux cylindriques et parallèles, dans lesquels passe la flamme, ce qui multiplie encore la surface de chauffe. On a aussi renversé cette disposition et fait passer l'eau dans des serpentins en les plongeant au milieu du foyer, ce qui a quelques avantages.

Dans les machines dont nous avons parlé, le mouvement du piston se transmet à un arbre tournant au moyen d'un balancier, d'une bielle et d'une manivelle. Dans les machines de chemin de fer et dans bien d'autres cas, on simplifie ces rouages en supprimant le balancier et la bielle, et en articulant directement la tige du piston à la manivelle. A cet effet, on rend le cylindre où plonge le piston mobile autour de tourillons qui le maintiennent dans une bonne direction. Telles sont les machines à cylindre oscillant.

Tous ces systèmes de machines à corps de pompe vertical ou incliné, fixe ou oscillant, à double effet, à haute ou basse pression, avec

ou sans détente, ont leurs avantages selon les services que l'on veut en retirer.

Explosions. — Mais dans toutes il importe de prévenir les causes d'explosion. Il est rare que ce soit à la faiblesse des parois des chaudières qu'on doive attribuer celles qui ont encore trop souvent lieu. Toutes, avant d'être employées, sont soigneusement expérimentées à une pression triple de celle qu'on leur permet de supporter, et elles portent un timbre indiquant le nombre d'atmosphères qu'elles ne peuvent dépasser.

On a soin, afin de rester dans les limites de la tension permise, d'adapter aux deux extrémités de la chaudière deux soupapes de sûreté, supportant un levier mobile auquel est fixé un poids. Le poids a été calculé de manière à résister à la tension permise de la vapeur, et à céder lorsqu'elle dépasse la limite fixée de sa force élastique; par là, la machine elle-même se charge non-seulement d'indiquer sa tension, mais encore de régler cette tension, car lorsque la vapeur dépasse sa limite, elle soulève la soupape, se répand dans l'air avec un sifflement avertisseur, et en déchargeant ainsi son trop-plein ramène la vapeur de la chaudière dans ses limites convenables de tension.

Afin que le chauffeur puisse activer ou ralentir le feu de manière à maintenir la vapeur à la tension convenable, et aussi pour qu'il puisse connaître cette tension, on adapte à la chaudière un manomètre qui reçoit constamment la vapeur.

C'est un tube recourbé, dont une branche

est fermée à son extrémité et remplie de mercure. Sous la pression atmosphérique, le mercure monte dans cette branche avec une force égale à $0^m,76$, et presse l'air qui y est renfermé; sous l'action de la vapeur, le mercure de la cuve est pressé, il presse à son tour l'air renfermé, et cette pression indique en atmosphères la force élastique de la vapeur; on gradue avec soin le manomètre de manière à pouvoir lire facilement le nombre d'atmosphères qu'on a obtenu. Fréquemment, dans les manomètres à air libre, on fait flotter sur le mercure un petit flotteur suspendu à un fil qui passe sur une poulie et qui porte à son autre extrémité un petit poids; il est très-facile, alors, par les oscillations de ce petit poids, de se rendre compte des pressions exercées.

Il y a encore des manomètres métalliques qui donnent les mêmes indications sur un cadran et qui sont moins fragiles que les manomètres de verre; mais ils subissent quelquefois de lentes modifications moléculaires qui faussent leurs indications.

Très-souvent les explosions sont dues aux variations de température de la chaudière; certains côtés des parois sont très-échauffés, et l'eau qui vient les toucher se vaporise brusquement et occasionne une vive pression sur la chaudière; en refroidissant trop promptement les parois rougies, elle les rend cassantes ou moins résistantes. Il importe donc d'éviter ces brusques mouvements; il faut pour cela que les parois que rougit la flamme soient toujours en contact

avec l'eau à l'intérieur, et nul danger n'est alors à craindre. Aussi, pour éviter que le niveau de l'eau baisse et que les parois rougissent à sec, a-t-on organisé un flotteur qui descend et monte avec le niveau de l'eau, et qui, par une petite tige qui sort à l'extérieur de la chaudière, marque au dehors l'abaissement du niveau. On a également établi deux robinets l'un au-dessus de l'autre, le plus bas, quand on l'ouvre, devant donner de l'eau, et le second de la vapeur, le quel'eau n'est pas descendue au dessous de son niveau. Enfin on laisse communiquer l'eau de la chaudière avec un tube de verre qui permet de toujours se rendre compte des moindres diminutions. On a été plus loin, et le *flotteur* d'alarme, qui s'entend à plusieurs kilomètres de distance, avertit le chauffeur lorsqu'il doit porter son attention sur ce point, et prévient toute négligence de sa part. C'est un flotteur qui, poussé par le liquide, ferme l'orifice d'un tuyau vertical; si le niveau baisse trop, le flotteur, n'étant plus poussé suffisamment, ne ferme plus le tuyau par lequel la vapeur sort; celle-ci s'élançe alors et rencontre un timbre qui produit ce sifflement aigu bien connu dans les chemins de fer.

Enfin, une des causes très-fréquentes d'explosion, qu'on peut combattre en nettoyant souvent l'intérieur des chaudières, c'est le dépôt par l'eau de substances solides qui revêtent les parois d'une croûte très-épaisse. Cette croûte, qui s'interpose entre l'eau et les parois, laisse prendre à celles-ci une température beaucoup plus élevée que si elles étaient en

contact avec l'eau à laquelle elles céderaient leur chaleur. Si, par hasard alors, une fissure se déclare dans ce dépôt, l'eau pénètre jusqu'aux parois trop chaudes, se vaporise avec violence, soulève le dépôt et presse les parois jusqu'à les briser avec une force extraordinaire.

Comme le nettoyage des chaudières est souvent difficile, on introduit quelquefois dans la chaudière des substances aptes à empêcher le durcissement du dépôt et à le laisser à l'état pulvérulent. Mais le meilleur moyen est encore le nettoyage fréquent.

Machine à basse pression.—On dit qu'une machine est à basse pression lorsque la tension ou la force élastique de la vapeur n'est que d'une ou deux atmosphères, c'est-à-dire lorsqu'elle ne peut faire équilibre qu'à la pression d'une colonne d'air égale à 1 kilog. par centimètre carré; mais lorsque cette tension s'élève à 7, 8 et plus d'atmosphères, la machine est à haute pression. Ces machines à haute pression ne sont pas obligées d'avoir toujours un condensateur comme les machines à basse pression; elles exigent même moins de frais de combustible, mais doivent être d'une exécution plus soignée. Elles sont employées pour faire mouvoir les wagons de chemins de fer; mais alors elles n'ont pas de condensateur, car l'eau nécessaire à la condensation alourdirait tellement leur poids qu'elles ne pourraient marcher avec vitesse.

On emploie de préférence les machines à basse pression lorsqu'on a besoin d'une grande dépense de force; telles sont les machi-

nes qui font marcher les bateaux à vapeur ; elles sont généralement munies d'un condenseur, parce qu'on n'a pas là les embarras du transport de l'eau destinée à la condensation.

Il y a du reste plus d'avantages, lorsqu'on utilise la détente de la vapeur, à se servir des machines à haute pression.

Locomotives. — Les locomotives de chemin de fer doivent leur grande, puissance, sous un volume relativement petit, aux nombreux tubes, entièrement environnés d'eau par où la flamme s'échappe ; la flamme se trouve ainsi, sur une très-grande étendue, en contact avec l'eau de la chaudière, et la plus grande somme d'effet utile est produite.

Quant aux tiges des pistons, elles glissent entre des guides qui les obligent à garder un mouvement rectiligne ; elles communiquent le mouvement de rotation directement aux grandes roues de derrière de la machine. Généralement, chaque piston est placé des deux côtés de la chaudière, qui pousse alternativement la vapeur sous l'un et l'autre piston.

Les roues adhèrent légèrement aux rails ou barres de fer saillantes sur lesquelles elles fonctionnent. Ces roues ont du côté extérieur un rebord qui les empêche de glisser latéralement, et pour que le frottement ne soit pas continu, on rend la bande de la roue conique au lieu d'être cylindrique. Le poids de la machine, en pressant sur les roues, les oblige à adhérer suffisamment même aux rails les plus polis, de sorte qu'on n'a pas à crain-

dre de voir la roue tourner toujours sans avancer.

Moteur Lenoir. — Dans la machine à vapeur, et surtout dans le fourneau où celle-ci se produit, il y a une grande quantité de chaleur dépensée sans effet utile ; la machine à gaz de Lenoir emploie au contraire toute la chaleur qu'elle met en jeu. Voici comment : Elle consiste en un cylindre qui reçoit un tuyau amenant du gaz d'éclairage ; ce cylindre est fermé par un tiroir qui laisse sortir du gaz quand le piston s'éloigne de ce côté. De l'air arrive par un autre gros tuyau, en quantité dix fois plus grande que le gaz hydrogène carboné. On fait alors passer dans le mélange d'air et de gaz une étincelle électrique à l'aide d'un appareil Rhumkorff qui enflamme le gaz ; il se produit ainsi une explosion dans le mélange explosif d'air et d'hydrogène carboné ; de la chaleur est produite, et, par suite, du travail mécanique est engendré, à l'aide de la haute température développée et de la pression qu'exerce l'air, l'acide carbonique et la vapeur d'eau ; la chaleur agit sur le piston à la manière ordinaire. Mais ce qui est excellent, c'est qu'on peut faire varier à volonté la quantité et l'arrivée du gaz, et par suite agrandir l'explosion, la régler, la diminuer et avoir ainsi des actions alternatives très-régulières. Il faut cependant refroidir toujours le corps de pompe en coulant de l'eau sur le cylindre pour éviter l'échauffement que fait naître l'explosion.

C'est là un des inconvénients de la machine ; mais on peut le diminuer en faisant

éclater l'explosion loin du piston ou en interposant, par exemple, une couche d'air entre le cylindre et la cavité intérieure.

Transformation de la chaleur en mouvement et en travail mécanique. — Lorsque la vapeur se dilate dans la chaudière des machines à vapeur, elle produit, en soulevant le piston, un effet mécanique qui est dû à l'action de la chaleur, ou plutôt qui est le résultat d'une transformation de la chaleur en mouvement mécanique; en effet, une partie de la chaleur qui est entrée dans les machines à vapeur pour produire l'effet mécanique n'en ressort pas sous forme de chaleur; une partie est absorbée par le travail d'élévation du piston et s'est convertie en mouvement. La quantité de chaleur ainsi convertie serait donc égale à une force mécanique qui soulèverait le poids du piston. On a calculé qu'une force qui peut élever un poids de 440 kilogrammes à un mètre de hauteur par seconde, peut être produite par la chaleur qui est nécessaire pour échauffer d'un degré 1 kilogramme d'eau, et que chacun de ces effets peut produire l'autre; la chaleur, par exemple, produira un effet mécanique égal à 440 kilogrammètres, et *vice versa*; ce nombre de 440 est ce qu'on appelle *l'équivalent mécanique de la chaleur*. Il n'est pas tout à fait exact, mais cependant il est généralement accepté aujourd'hui.

Cheval-vapeur, kilogrammètre. — Il ne faut pas oublier que ce que l'on appelle le cheval-vapeur n'est pas du tout une force développée par la vapeur, et égale à celle

d'un cheval; le travail utile que produit un cheval-vapeur est environ le double de celui du travail d'un cheval vivant (lequel égale 40 à 50 kilogrammes au plus, mais il faut diminuer ce chiffre que la fatigue et les repos permettent rarement d'atteindre). Le travail d'un cheval-vapeur équivaut à celui qui serait nécessaire pour élever 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur en une seconde. On appelle kilogrammètre le travail nécessaire pour élever 1 kilogramme à un mètre en une seconde; un cheval-vapeur produit donc 75 kilogrammètres; une machine de 50 chevaux pourrait donc élever cinquante fois 75 kilogrammes à 1 mètre, ou une fois 75 kilogrammes à 50 mètres s'il n'y avait pas des causes de déperdition de force, qui agissent toujours.

ÉLECTRICITÉ.

Développement de l'électricité par le frottement. — Si nous frottons un bâton de soufre, de bonne cire à cacheter, de verre, de résine ou d'ambre jaune avec un morceau de laine ou une peau de chat sèche, nous voyons ces substances attirer à elles, et même enlever des corps légers comme la poussière, les barbes de plume, les petits morceaux de papier ou de moelle de sureau. Cette propriété que le frottement a développé dans des corps qui ordinairement laissent parfaitement leurs voisins en repos, fut appelée par les anciens *électricité* (*d'électron*, ambre). On peut ob-

tenir les mêmes résultats en frottant une lame de métal, pourvu toutefois qu'on ne la touche pas avec la main ou avec un autre métal, et qu'on la fixe par exemple à un tube de verre. Alors l'électricité que développe le frottement, au lieu de se perdre à mesure dans la main, devient très-sensible; il en est de même lorsqu'on suspend le métal sur des supports de résine, de soie, car ces substances s'opposent assez bien à la déperdition électrique.

Aussi a-t-on appelé corps non-conducteurs de l'électricité, ceux qui transmettent mal le mouvement électrique, quoiqu'ils soient eux-mêmes facilement électrisables par le frottement.

Plus le frottement est énergique, plus le mouvement électrique développé l'est aussi, et plus l'attraction opérée sur les corps est intense.

Mais il faut remarquer que les corps ainsi attirés par les corps frottés ne présentent aucune marque de mouvement électrique, bien qu'il soit probable qu'ils ne restent pas complètement inertes intérieurement sous ce rapport.

Quoi qu'il en soit, il est des corps qui, comme le bois et les métaux, s'électrisent au même instant dans tous les points de leur surface, de manière qu'après les avoir frottés en un point, on voit (pourvu qu'on ne les tienne pas à la main) tous les points de leur surface donner des marques d'électricité, tandis qu'il en est d'autres qui, comme le verre, la résine, etc., opposent une sorte de résis-

tance au mouvement et ne paraissent électriques qu'au point même où le frottement a eu lieu.

Corps isolants.—On se sert de ces derniers corps pour isoler les premiers et pour empêcher que le mouvement électrique développé par le frottement ne se perde en se communiquant à des corps conducteurs. L'isolement produit aussi l'accumulation et la tension électrique.

Corps conducteurs et non-conducteurs. — Les corps bons conducteurs du mouvement électrique, qui s'électrisent moins bien par le frottement, c'est-à-dire qui conservent difficilement le mouvement développé en eux, sont les suivants :

Les métaux, le charbon calciné, les fils de lin, l'eau, la vapeur, les liquides, toutes les substances humides, le corps humain, le globe terrestre, la terre cuite, le bois.

Les corps mauvais conducteurs qui conservent très-bien l'électricité que le frottement développe en eux sont :

Le verre, la résine, la soie, la terre sèche, les briques, la pierre, le charbon non calciné, le diamant, la topaze, l'émeraude, la plupart des pierres précieuses, les oxydes, les huiles, les gaz secs, par conséquent l'air sec, la cire, la gomme laque.

Du reste, le verre chauffé au rouge, la gomme laque, le soufre, également chauffés, deviennent conducteurs comme les métaux. Le mouvement calorifique favorise le passage du mouvement électrique. Aussi l'eau limpide conduit-elle mieux que l'eau en glace sèche.

On voit donc que pour électriser un corps il faut l'isoler par un corps mauvais conducteur, après l'avoir frotté par un corps également mauvais conducteur.

Lorsque l'on veut faire circuler l'électricité entre des corps on remarque :

Qu'entre deux corps mauvais conducteurs, cette communication n'a lieu qu'au contact de l'un et de l'autre ;

Qu'entre deux corps bons conducteurs, elle a lieu à distance, et par tous les points de la surface ;

Qu'entre un corps bon conducteur et un corps mauvais conducteur, le premier perd ou prend de l'électricité par tous les points de sa surface, le second n'en prend que par le point de contact.

Lorsque l'électricité traverse l'air pour aller d'un corps à un autre, et que l'intensité de l'électricité accumulée est suffisante, ce passage se fait avec bruit et dégagement de lumière sous forme d'étincelle ; toutefois, on n'a jamais remarqué sur le passage de l'étincelle une élévation de la température, bien que les effets produits par cette étincelle qui enflamme les gaz, etc., soient identiques à ceux qu'offre le mouvement calorifique.

Frottement des liquides. — De même que les solides s'électrisent par leur frottement réciproque, de même les liquides non-seulement électrisent les solides, comme le fait du mercure agité dans un vase de verre bien sec, mais encore ils s'électrisent entre eux.

Les gaz ne paraissent pas s'électriser par leur frottement réciproque ; mais il faut ce-

pendant se rappeler que tous les corps, gaz, liquides ou solides qui se combinent ensemble, c'est-à-dire qui se mêlent d'une manière très-intime, jouent vis-à-vis les uns des autres les rôles d'électro-positifs et d'électro-négatifs; nous verrons, en chimie et plus loin, d'autres faits de cette nature.

De la vapeur humide qui s'échappe d'une machine à vapeur s'électrise en frottant ses molécules contre les parois de sortie; elle est électrisée tantôt positivement, tantôt négativement, en sens inverse des parois qui prennent l'électricité opposée à celle de la vapeur, selon la nature des substances chimiques contenues dans la chaudière.

Deux mouvements électriques, positif et négatif. — Les corps qui sont électrisés attirent toujours, comme nous l'avons vu, les corps, plumes, papier, etc., qui ne le sont pas.

Mais il est à remarquer qu'ils repoussent le corps qui a servi à les électriser; ainsi, par exemple, le corps frottant repoussera le corps frotté.

Mais il arrive que la nature de chacun des corps influe sur les phénomènes précédents.

Ainsi du verre frotté avec de la laine ou de la soie attirera les corps déjà électrisés.

Tandis que frotté avec une peau de chat ou de loutre, il les repoussera.

Donc, en résumé, deux corps quelconques frottés ensemble prennent toujours, l'un le mouvement électrique positif, l'autre le mouvement négatif; mais ils peuvent prendre alternativement chacun de ces mouvements,

selon les circonstances. On appelait jadis ces deux mouvements, l'un le fluide positif ou vitré, parce que le verre frotté attire les corps que repousse la résine; l'autre, le fluide négatif ou résineux, parce que la résine frottée attire les corps que repousse le verre. Mais comme la résine et le verre peuvent alternativement prendre l'un ou l'autre de ces mouvements, on préfère aujourd'hui les désigner par les noms de positif qui attire et de négatif qui repousse.

Il y a donc deux sortes de mouvement électrique, l'un dont le résultat est de paraître attirer les corps, l'autre de les repousser: le mouvement positif ou attractif est développé par le frottement dans certains corps, et le mouvement négatif ou répulsif peut l'être également si certaines circonstances, dont l'influence n'a pas encore été bien analysée, se présentent. Ainsi, pourquoi la couleur, le poli des corps, le sens de la friction, la température favorisent-elles le développement de l'un ou de l'autre des mouvements, c'est ce que nous essaierons de préciser peu à peu.

Les corps sont rendus plus positifs par l'action du froid, et par suite ils possèdent un mouvement électrique attractif, tandis que la chaleur les rend négatifs. On sait que l'effet général de la chaleur sur les corps est un effet de répulsion entre les molécules; il n'est donc pas étonnant qu'elle électrise négativement les corps, et qu'elle y fasse naître un mouvement répulsif.

Le verre poli prend le mouvement positif

lorsqu'on le frotte contre le verre dépoli ;

Un ruban de soie noire manifeste le mouvement répulsif lorsqu'il est frotté avec un ruban blanc. De deux rubans d'une même pièce frottés en croix, celui qui reste immobile prend l'électricité positive.

Or, jamais un des deux mouvements électriques n'est développé sans que l'autre ne se manifeste ; on le comprend puisque le mouvement électrique paraît être un courant ondulatoire qui se développe dans les corps, et qui, dans le mouvement qu'il accomplit, prend deux directions différentes, comme le fait toute action qui amène une réaction.

Dans leur état ordinaire, les corps ne donnent aucun signe d'électricité. Tant que rien ne vient déranger leur équilibre, ni le frottement, ni la chaleur, ni une action chimique, ni un mouvement quelconque en un mot, nul phénomène de ce genre ne se manifeste ; mais dès qu'une de ces causes vient à agir, immédiatement le mouvement se produit comme si un équilibre quelconque venait d'être rompu par l'application d'une force.

On appelle cet état d'équilibre, l'état neutre ; il se produit encore lorsque les deux mouvements électriques, au lieu d'être séparés, viennent à se recomposer ; c'est-à-dire lorsque le corps cesse de vibrer électriquement. Quelle que soit la cause qui produise ce mouvement, il est une loi qu'il faut reconnaître et constater, c'est que dans deux corps où l'électricité se manifeste, le mouvement positif attirera toujours le mouvement négatif, ou de nom contraire, et le

mouvement négatif attirera le mouvement positif, tandis qu'il repoussera le mouvement négatif ou de nom semblable.

Quand un corps est électrisé, il agit sur les corps qui ne le sont pas, décompose leur électricité à l'état neutre, c'est à-dire à l'état inactif, repousse le mouvement de même nom, attire le mouvement de nom contraire, agit, en un mot, comme les aimants sur le fer.

Le corps qui n'était pas électrisé, le devient donc par l'influence de l'électricité, qui fait vibrer ses molécules et qui développe en lui ce qu'on appelle un mouvement induit ou une induction.

Mais dès que l'influence cesse d'agir, les deux mouvements induits se recomposent, deviennent inactifs, et il n'y a plus trace d'électricité. Sur les corps bons conducteurs, cette action d'induction est très-rapide; sur les mauvais conducteurs, elle se produit très-lentement, mais dure bien plus longtemps, même après que l'influence du corps inducteur a disparu.

Cette induction, qui peut s'opérer à distance, a lieu de molécule à molécule par l'intermédiaire de l'air ou de tout autre milieu que sépare le corps électrisé et le non électrisé.

Électrisation par contact et par influence.

— Ce n'est pas seulement par le frottement que l'onde électrique se propage dans les corps; il suffit souvent de mettre un corps non électrisé en contact avec un corps électrisé pour que celui-ci vibre de même à

l'instant s'il est bon conducteur ; mais presque toujours l'électricité ainsi développée cesse dès que le contact n'a plus lieu.

On peut encore électriser un bon conducteur en se contentant de l'approcher à distance d'un corps déjà électrisé. Le milieu qui sépare les deux corps, même lorsqu'il est mauvais conducteur comme l'air, sert d'intermédiaire, et bien que l'action soit lente, elle n'en est pas moins réelle. Ce n'est pas ici, par leur surface, que l'électricité traverse ces corps intermédiaires, mais bien par leur masse. Il n'y a donc pas de corps parfaitement isolant, puisque les plus mauvais conducteurs transmettent toujours un peu le mouvement électrique. L'air est de tous celui qui conduit le moins, puis viennent la résine, la poix, la cire, le verre, la gomme laque et le soufre, tandis que tous les gaz ont à peu près le même pouvoir conducteur, quelle que soit leur température.

Dans les corps électrisés par influence, on remarque une distribution du mouvement électrique qui n'est pas sans analogie avec ce qu'on observe dans les corps appelés magnétiques.

L'accumulation de l'électricité est maximum aux extrémités, et elle décroît jusqu'à une certaine ligne qui n'en possède aucune trace ; cette ligne neutre ne partage pas, du reste, exactement les corps en deux zones égales ; elle est toujours plus voisine de la source qui électrise. On remarque un phénomène analogue lorsqu'on produit une ondulation dans un liquide enfermé dans un vase

circulaire. Lorsque le mouvement revient sur lui-même après avoir frappé la paroi opposée au centre d'ébranlement, si ce centre est plus rapproché de la paroi opposée, un second centre d'ébranlement se produit à l'opposite du premier, près de la seconde paroi, et un espace calme et neutre s'étend de l'un à l'autre centre.

Electricité statique, dynamique et d'induction. — L'électricité qu'on développe en frottant les corps s'accumule généralement à leur surface, car on n'en trouve point dans leur intérieur. Elle acquiert une grande force de tension lorsqu'elle ne peut s'écouler au dehors; cette force se révèle lorsqu'on en approche d'autres corps, par l'attraction qui s'opère entre les uns et les autres, et qui, quelquefois, va jusqu'à produire des étincelles lorsque les deux mouvements électriques différents se portent l'un vers l'autre avec une grande force. Cette électricité qui s'accumule s'appelle *statique*.

L'électricité qu'on développe à l'aide de combinaisons et de décompositions chimiques par exemple, et par le contact de deux métaux différents, zinc et cuivre, humectés avec un acide, sulfurique ou azotique, se manifeste sous une forme assez différente, sous celle de *courant*, c'est-à-dire que l'électricité parcourt les corps et les fils métalliques, comme le ferait une bille à travers un long tube de métal, ou plutôt que les molécules d'éther que renferme le corps vibrent avec une grande rapidité sous l'action de l'électricité développée.

Mais cette électricité en mouvement *dynamique*, dont la source ne cesse d'agir, tandis que le frottement ne peut pas toujours durer, développe à son tour un mouvement électrique qui s'accumule, comme l'électricité statique produite par le frottement, et auquel on donne le nom d'électricité *induite*.

Du reste, comme les autres mouvements, le mouvement électrique, positif et négatif, est toujours, dans son intensité, proportionnel au carré des distances et aux quantités d'électricités développées.

Remarquons de plus que le mouvement électrique, quelle que soit sa nature, s'accumule toujours à la surface des corps, et que dans les parties centrales on n'en retrouve aucune trace ; cette couche superficielle d'électricité est, quelle que soit sa tension, d'une épaisseur infiniment moindre que la plus mince feuille métallique, et bien qu'il soit possible de produire constamment une nouvelle quantité d'électricité dans les corps. Cela montre bien que l'électricité n'est qu'un mouvement, une ondulation, une vibration des molécules matérielles, car s'il en était autrement, le développement du mouvement électrique aurait des limites dans la quantité d'électricité contenue dans chaque corps, comme la ténacité de chacun d'eux, leur solidité, leur cohérence et leurs autres propriétés ont des limites.

Le mouvement, au contraire, n'a jamais de limites ; les atomes d'éther interposés entre les molécules des corps peuvent toujours vibrer, de là la continuité de puissance élec-

trique des corps, sans qu'ils gagnent ou perdent rien.

On peut se rendre compte des apparences d'attraction et de répulsion que manifestent les deux électricités, en considérant ce qui se passe lorsque deux corps placés l'un près de l'autre produisent des ondulations en même temps. Les ondes qui vont dans le même sens paraissent, en effet, se repousser lorsqu'elles se suivent, tandis que les ondes qui vont dans un sens opposé paraissent s'attirer, puisqu'elles vont à la rencontre les unes des autres. Lorsqu'on s'amuse à faire des ronds dans un puits, ce qui est une expérience de physique très-intéressante, et quand on examine attentivement ce qui se passe, on voit en effet des ondes produire les phénomènes que nous venons de décrire. Cela peut donner une idée superficielle de ce qui se passe dans la décomposition des mouvements électriques positifs et négatifs, et même aussi de ce que l'on remarque dans les pôles des aimants, lesquels suivent la même loi d'attraction et de répulsion que les électricités.

Pouvoir des pointes. — Les corps qui sont terminés en pointes laissent passer et s'écouler très-facilement le mouvement électrique; celui-ci s'accumule vers les pointes, la tension croît et la transmission s'effectue dans l'air, bien que celui-ci soit assez peu conducteur du mouvement électrique. Dans les boules, au contraire, l'électricité se répand uniformément et prend partout la même tension; aussi le mouvement électrique s'y accu-

mule-t-il et ne le quitte-t-il que difficilement.

Aussi tous les appareils qui servent à développer et à retenir l'électricité sont-ils tous terminés par des boules, tandis que les corps par lesquels on veut que l'électricité s'écoule, sont toujours terminés en pointes.

Electricité par pression. — La pression, comme le frottement, comme la chaleur, développe le mouvement électrique; si je presse un disque de métal sur du taffetas gommé, le disque manifeste l'électricité négative, le taffetas la positive; si je les frotte au contraire, le taffetas devient négatif, le disque positif; le mouvement du frottement a changé le sens du courant électrique.

Du reste, ces variations, qui tiennent autant à la nature du mouvement qui développe l'électricité qu'à la nature des corps eux-mêmes, sont encore dépendantes du degré de la pression et de la vitesse de séparation : ainsi les corps les plus élastiques prennent le plus d'électricité, les corps polis également, les corps dépolis très-peu.

On conçoit du reste assez bien pourquoi les corps électrisés par pression conservent longtemps leur électricité, toute pression ayant pour effet de concentrer les forces ou les molécules auxquelles elle est appliquée.

Du reste, la déperdition du mouvement électrique dans les corps électrisés suit les mêmes lois que la diminution du mouvement calorifique, diminution qui produit le froid; elle dépend de la conductibilité du milieu, de la quantité d'électricité du corps, etc.

Electricité développée par la chaleur. — La chaleur, comme les actions chimiques, développe également le mouvement électrique.

Si par exemple on chauffe du cuivre et du fer soudés ensemble de manière à former un circuit fermé de deux barreaux de chaque métal, on voit se produire un courant électrique qui dévie l'aiguille aimantée, et qui va de la partie chauffée à la partie non chauffée. Plus la différence de température à laquelle on porte chaque soudure est grande, plus le courant est intense.

On voit donc que la chaleur ne développe de courant électrique que lorsque son mouvement est arrêté, qu'il est irrégulier et en quelque sorte refracté lors de son passage d'un corps dans un autre. En effet, dans un fil métallique homogène où le mouvement calorifique se propage avec facilité, il n'y a jamais indication de mouvement électrique ; tandis que si le même fil a des nœuds, s'il a subi la trempe ou le recuit, le mouvement calorifique se propage plus difficilement, et il y a production d'électricité.

Du reste, les liquides transmettent très-peu ce genre de courant développé par la chaleur.

La chaleur engendre non-seulement des courants électriques dans les circuits métalliques, mais encore dans certains corps elle produit les mêmes effets électriques que nous avons fait produire au frottement, et qu'on appelle électricité statique ou de tension, par opposition à l'électricité dynamique ou de courant.

La tourmaline, la topaze et d'autres cristaux, suspendus à des fils de soie sans torsion, lorsqu'on les chauffe uniformément entre 10° et 150°, manifestent les deux mouvements électriques, qui se distribuent dans leur intérieur comme le magnétisme dans un aimant; ils s'accroissent avec une grande tension aux deux points voisins des extrémités, et manifestent des mouvements contraires à ces deux extrémités, qui sont également éloignées d'une ligne neutre.

Si le mouvement calorifique ou la température reste stationnaire, le mouvement électrique disparaît; si la température baisse et que le mouvement s'affaibisse, l'électricité se manifeste de nouveau, mais avec un mouvement en sens contraire, car le pôle positif devient négatif, et *vice versa*. Mais cette électricité, née du mouvement calorifique, ne paraît pas se transmettre aisément aux corps bons conducteurs, qui vibrent facilement au contact des corps électrisés.

Lorsqu'on brise la tourmaline en plusieurs morceaux, chacun de ces morceaux prend, comme la tourmaline entière, un mouvement positif d'un côté et négatif de l'autre; le mouvement continue donc à parcourir dans deux directions opposées chaque parcelle du cristal. Toutefois, si on maintient une des extrémités de la tourmaline à une même température et qu'on échauffe l'autre ou qu'on la refroidisse, la première partie ne donne aucun signe de mouvement électrique, tandis que la seconde donne le signe que nous avons constaté plus haut comme le résultat

de tout mouvement calorifique plus ou moins intense dans le cristal. La chaleur développe donc de l'électricité dans un grand nombre de cas et se transforme en mouvement électrique d'un caractère différent, selon les corps où elle a pénétré.

APPAREILS D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

Machines électriques. — Disons un mot des machines à l'aide desquelles nous produisons le mouvement électrique. Les plus simples sont composées d'un corps frotté, plateau de verre circulaire et vertical qui tourne à l'aide d'une manivelle, et qui, en tournant, frotte contre des coussins de peau bien rembourrés et fixés sur des supports de bois.

Lorsque le plateau tourne et est frotté, le mouvement électrique se produit et le verre se charge de mouvement négatif ou vitré, ou mieux il vibre négativement. Un conducteur ou cylindre de cuivre supporté par des colonnes isolantes de verre, et muni à ses extrémités, près du plateau, de pointes, vient toucher presque le disque de verre. L'onde électrique se propage par les pointes dans le conducteur, y produit également le mouvement électrique, y refoule le mouvement négatif ou vitré de même nom, attire au contraire le mouvement positif ou résineux, lequel passe par les pointes et va sur le plateau et les coussins recomposer un équilibre électrique détruit, et que le frottement va détruire encore de nouveau.

Le conducteur est ainsi chargé de mouve-

ment électrique, et lorsqu'on en approche la main, on reçoit une commotion accompagnée d'une étincelle produite par la décomposition de l'électricité de notre corps.

Lorsqu'on approche la main des boules en cuivre qui terminent la machine électrique, on obtient des étincelles tantôt rectilignes, tantôt en zigzag, tantôt sinueuses tout à fait analogues aux éclairs de la foudre.

On peut même ainsi entourer de feu tout le corps d'une personne en la faisant monter sur un tabouret isolé par des pieds de verre. Lorsqu'elle est mise par un corps conducteur métallique en contact avec la machine électrique, et qu'on opère dans l'obscurité, on voit autour d'elle une sorte d'auréole lumineuse.

Du reste, il faut remarquer que la lumière électrique varie d'aspect avec la nature du mouvement électrique ; le mouvement négatif s'écoulant par une pointe donne à son extrémité un seul point lumineux, tandis que l'électricité positive produit une sorte de ligne lumineuse qui diverge ensuite en une sorte d'éventail ou d'aigrette.

Bouteille de Leyde. — La bouteille de Leyde est un flacon de verre plus ou moins grand, qu'on revêt aux deux tiers extérieurement d'une feuille d'étain, métal qui conduit bien l'électricité. A l'intérieur, il est rempli de feuilles minces de métal, de cuivre ou d'or, ou de substance conductrice. Le flacon est bouché à l'aide d'un bouchon de liège où passe une tige de cuivre qui touche au conducteur intérieur. Cette tige est ter-

minée par une boule. Une couche de résine est placée entre le goulot et le métal conducteur extérieur, afin d'empêcher le passage de l'électricité de l'extérieur à l'intérieur.

On fait communiquer l'intérieur, au moyen du bouton de cuivre de la tige, avec le conducteur d'une machine électrique chargée, et l'électricité s'accumulant dans cet espace, sans pouvoir s'en échapper, peut être conservée assez longtemps; il faut avoir soin de mettre la garniture extérieure d'étain en communication avec le sol, à l'aide d'un fil métallique, afin que l'un des deux mouvements électriques puisse s'écouler dans la terre sans danger pour l'opérateur. Lorsqu'on veut obtenir, avec cette bouteille, une décharge électrique, on approche le bouton métallique de la substance avec laquelle on veut obtenir une étincelle; la recombinaison des deux mouvements électriques s'opère instantanément et donne lieu à ces zig-zags lumineux qui caractérisent l'éclair électrique.

Batteries électriques. — On réunit généralement plusieurs bouteilles de Leyde ensemble, en faisant communiquer ensemble toutes les garnitures extérieures, soit en les plaçant sur un fonds commun bon conducteur, soit en les entourant du même fil métallique qui touche au sol; puis on réunit tous les boutons au moyen de tiges de même métal. On comprend combien les décharges augmentent de force avec ces appareils, et comment il est possible de volatiliser alors des mé-

taux, de tuer des petits animaux et même des bœufs.

APPAREILS D'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

Galvanisme. — Pile de Volta. — En 1789, Galvani, professeur à Bologne (Italie), remarqua que lorsque l'on mettait en communication, par un arc en métal, les muscles des jambes d'une grenouille écorchée avec les nerfs de la partie inférieure de son dos, elle éprouvait de violentes convulsions.

Après lui, Volta observa que les convulsions étaient assez faibles lorsque l'arc était formé d'un seul et même métal, et qu'elles étaient nulles lorsque l'arc était fait avec une autre substance peu conductrice du mouvement électrique; mais qu'au contraire, les tressallements avaient une très-grande intensité lorsque l'arc était composé de deux métaux différents. Pour Volta, la grenouille n'était pas un réceptacle d'électricité, mais seulement un corps conducteur qui servait à manifester le mouvement électrique développé par le contact des deux métaux. Ces deux observations sont l'origine des principales découvertes modernes; c'est à elles que l'on doit l'invention des piles électriques qui ont fait faire, à la chimie en particulier, ses progrès les plus rapides.

Toutefois, ce n'est pas au simple contact des deux métaux qu'il faut attribuer le développement électrique qui se manifeste alors, mais à l'action chimique qui se produit entre le métal et les acides qui sont en con-

tact avec lui, ou à la différence de température que peut prendre chacun des deux métaux.

Electricité due aux actions chimiques. — Quand deux corps différents, du zinc et de l'acide sulfurique, par exemple, sont en présence, l'un plongé dans l'autre, il se produit un phénomène chimique : l'acide sulfurique est décomposé, l'un de ses éléments se porte sur le zinc, l'autre est mis en liberté.

Dans ce fait il y a décomposition d'un équilibre électrique, et par suite chacun des deux corps prend une électricité ou un mouvement électrique contraire.

Si l'action s'opère entre un liquide et un métal, ce dernier, s'il est attaqué par l'autre, prend l'électricité négative, et le liquide le mouvement positif.

Si au lieu d'un seul métal on plongeait deux métaux différents dans un liquide acide par exemple, ils prendraient chacun un mouvement opposé, et on aurait deux courants opposés, d'électricité positive et d'électricité négative.

Piles.—Si donc je place une pièce d'argent ou une rondelle de zinc sur une pièce de cuivre (un sou par exemple), et que je les sépare par une petite rondelle de drap ou de carton d'égal diamètre imprégné d'eau salée, ou mieux encore si je plonge deux lames de zinc et de cuivre dans une dissolution saline, j'obtiens une action chimique entre les métaux et le sel, action qui produit un dégagement d'électricité.

Je puis assembler un grand nombre de ces

paires d'éléments, qu'il vaut mieux faire carrés que ronds ; je les disposerai de manière qu'un élément cuivre touche toujours un élément zinc, et par conséquent aux deux extrémités de la colonne, j'aurai d'un côté un élément zinc électro-positif, et de l'autre un élément cuivre électro-négatif, qui forment les deux pôles de cette pile.

On peut réunir ces deux extrémités l'une à l'autre au moyen de deux fils métalliques conducteurs, qui établiront alors un courant électrique entre les deux pôles. Chaque fil séparé attirera, l'un le positif, les corps ou les mouvements négatifs par rapport à lui, l'autre le négatif, les corps ou les mouvements positifs à son égard.

C'est là le principe des piles électriques.

Dans les piles perfectionnées, on attaque le zinc par de l'acide sulfurique, qui a une vive action sur lui et n'en a que très-peu sur le cuivre, qu'on attaque au contraire par l'acide azotique.

Chaque combinaison développe ou chaque décomposition détruit toujours ainsi l'équilibre électrique, et produit des mouvements électriques positifs et négatifs en sens contraires. Il est même remarquable que chacun des corps qu'emploie la chimie est électro-positif vis-à-vis d'un certain nombre d'autres corps, et électro-négatif vis-à-vis d'autres corps, de sorte qu'il semble que le mouvement produit par la décomposition de l'électricité est à peu près égal dans tous les corps, bien que l'activité de l'action chimique influe sur la quantité générale du

mouvement, et que dans chaque corps les mouvements en sens inverse prédominent à un pôle ou à l'autre, suivant les corps avec lesquels ils sont en contact.

Dans la pile, l'électricité négative des corps isolants recompose l'équilibre neutre à l'aide de l'électricité positive développée dans le cuivre, par exemple; puis l'électricité négative passe du zinc au cuivre et recompose la neutralité avec le positif du zinc. L'équilibre rompu aux surfaces attaquées se rétablit par la rencontre de deux mouvements inverses, sur les surfaces isolantes des corps intermédiaires qui ne sont pas attaquées; il n'y a que les corps des deux extrémités qui ne peuvent recomposer leur équilibre, puisqu'ils ne reçoivent pas de mouvements opposés au leur. Il en résulte une tension assez considérable à ces extrémités, tension qui explique l'étincelle qui se manifeste lorsqu'on rétablit la communication entre les deux extrêmes au moyen du contact, ou du simple rapprochement, même à une distance de quelques centimètres des deux fils partant de ces extrémités.

Comme l'action chimique est continuelle, l'accumulation aux extrémités est également continuelle, et par suite les piles fournissent de l'électricité pendant des mois et des années, jusqu'à ce que les lames de métal soient détruites.

Pile Bunsen. — La pile de Bunsen est à la fois la plus simple et la plus énergique. Elle se compose d'un pot de verre ou de faïence que l'on remplit d'acide sulfurique étendu

d'un dixième d'eau. Ce pot contient un cylindre de zinc à tige de cuivre qui, trempant aussi dans le liquide, conduira le fluide négatif, et dans l'intérieur duquel on fait pénétrer un autre pot de terre cuite poreuse contenant de l'acide azotique concentré. Dans cet acide azotique on fait plonger un cylindre de charbon également muni d'une tige de cuivre pour conduire le fluide positif. La réunion de plusieurs de ces éléments enchâssés les uns dans les autres, et dont on fait communiquer les pôles zinc et charbon ou négatif et positif, de manière à établir la décomposition, forme la pile.

L'acide sulfurique attaque le zinc et l'eau est décomposée; son oxygène se porte sur le zinc et forme, avec l'acide sulfurique, un sel, le sulfate de zinc, qui se dissout dans l'eau. Cette décomposition de l'eau dégage, comme toutes les décompositions, beaucoup de mouvement électrique.

Puis le gaz hydrogène séparé de l'eau passe à travers le vase poreux et va se combiner avec l'oxygène de l'acide azotique (qui est formé d'oxygène et d'azote), oxygène pour lequel il a une grande affinité. Il reforme ainsi de l'eau, et dégage un nouveau courant électrique qui s'ajoute au premier, suit le même sens que lui, et va du vase intérieur au vase extérieur, du charbon au zinc par le fil de communication; par suite, après la recomposition, une redécomposition s'opère et le zinc reste toujours négatif et le charbon positif.

Ces piles sont d'une très grande force; 3 à

4 éléments suffisent à décomposer l'eau ; 30 à 40 produisent l'incandescence du charbon.

Ce charbon, qui est très-bon conducteur de l'électricité et qui est inattaquable par l'acide azotique, est un mélange intime, chauffé et comprimé au moule, de houille grasse et de coke très-finement broyés.

On remplace quelquefois le charbon par une lame de platine.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Actions chimiques de la pile. — On s'est servi naturellement de la pile pour séparer les corps, qui, comme l'eau, les acides, les oxydes, etc., sont formés de la réunion de deux ou de plusieurs corps différents.

Ainsi, en plongeant dans de l'eau légèrement acide des fils qui partent de chacun des pôles de la pile, on voit se dégager des bulles de gaz au-dessus de chacun des fils ; on a reconnu qu'au-dessus du fil et du pôle négatif se dégage l'hydrogène qui, uni à l'oxygène, forme l'eau, et au-dessus du pôle positif se dégage l'oxygène. On décompose également bien les oxydes, c'est-à-dire les combinaisons de l'oxygène et d'autres corps, tels que les métaux, fer ou autre ; les acides, les sels, tous les corps composés de la chimie, en un mot, sont séparés par la pile, et chacun d'eux se porte l'un au pôle positif, c'est presque toujours l'oxygène ou des corps comme le soufre, qui lui ressemblent, et l'autre au pôle négatif.

De plus, les courants électriques, si propres à décomposer les corps, ne le sont pas moins à les recomposer, à les réunir, à les faire adhérer; aussi, a-t-on, à l'aide de la pile, reconstitué des corps qu'on avait séparés, et produit des cristaux que jusqu'ici les forces naturelles avaient seules produits.

Galvanoplastie. — Sous l'influence du mouvement électrique et des courants, les sels métalliques se décomposent comme tous les corps, et les corps qui les composent se portent les uns sur le fil positif s'ils sont négatifs, les autres sur le fil ou pôle négatif s'ils sont positifs. Si l'on fixe par exemple au fil négatif une plaque de métal plongée dans une solution d'un sel de cuivre, on voit se déposer sur elle le cuivre provenant de la décomposition, s'y attacher, et la couvrir pour ainsi dire d'une couche de matière adhérente, mais d'une cohésion assez faible, si l'on ne laisse agir la pile que peu de temps; si, au contraire, son action s'accomplit lentement, si le courant est fort et régulier, dans un certain espace de temps, la couche devient épaisse et très-adhérente.

A la place d'une plaque de métal on peut placer une statuette en plâtre, un bas-relief, une médaille en ciselure, et changer la nature de la dissolution, qui peut contenir de l'or ou de l'argent, et l'on dore ainsi ou l'on argente les objets placés au pôle négatif et en communication avec lui.

Il faut avoir soin toutefois de revêtir les objets qu'on veut ainsi recouvrir d'une couche galvanique d'une substance qui, sans en

changer la forme, les rende parfaits conducteurs. On se sert pour cela de plombagine très-pulvérulente, c'est ce qu'on appelle métalliser la surface.

Lorsque l'on veut dorer les métaux, on se sert d'un chlorure d'or et de potassium, ou mieux, de cyanure d'or dissous dans du cyanure de potassium.

Le cyanure, en se décomposant, laisse aller le cyanogène au pôle positif, et l'or se précipite sur l'objet à dorer au pôle positif. Il ne reste plus qu'à brunir, c'est-à-dire à frotter avec un corps dur le dépôt ainsi obtenu.

Pour l'argent, on se sert du cyanure d'argent, et pour les autres métaux, cobalt, nickel, plomb, etc., l'opération suit exactement la même marche.

C'est ainsi qu'on a obtenu à très-bon marché des couverts argentés qui ont toutes les qualités de l'argent, et qui peuvent toujours se réargenter après quelques années d'usage; qu'on a reproduit d'anciennes médailles, qu'on a vulgarisé l'usage des pendules et des candélabres en bronze et en zinc doré; qu'on a reproduit toutes les productions de la statuaire, figurines, fleurs, animaux, en un mot qu'on a mis à la portée d'un grand nombre de petites bourses à la fois l'utile et l'agréable.

On a même pu, par les mêmes moyens, reproduire les planches gravées soit sur acier soit sur cuivre.

Le plus important des résultats de la galvanoplastie est évidemment dans la repro-

duction même des objets. Pour y arriver, on forme le moule de l'objet à reproduire au moyen de plâtre ou gélatine, de cire, ou mieux de gutta-percha qui, chauffée, prend avec une grande exactitude les formes de l'objet. On rend ces corps conducteurs en appliquant avec un pinceau de la plombagine à leur surface; puis on attache ces moules au pôle négatif d'une pile, et on dépose le tout dans la dissolution de sulfate de cuivre ou autre dont le métal doit se précipiter sur le moule. Lorsqu'on fait passer à l'aide du fil positif le courant électrique, la décomposition du sulfate de cuivre s'opère, le métal se porte sur le moule négatif, et au bout de trois jours à peu près la couche a pris l'épaisseur convenable. On détache le moule qui adhère peu au métal et l'on a une reproduction très-fidèle de l'original, selon la nature de la dissolution employée, en cuivre, en argent, en or, en platine, en zinc, en étain.

Il est probable que, dans un temps donné, l'ancien système de couler dans les moules par la fusion du métal, les statues, bas-reliefs et autres grandes pièces, sera remplacé par l'application économique de la galvanoplastie. Déjà elle permet de donner à la stéréotypie une durée pour ainsi dire sans limites, en reproduisant les anciennes matrices des caractères rares, ou épuisés, ou usés et les planches des épreuves daguerriennes; enfin, elle permet la gravure directe des planches de cuivre ou d'acier, et la fabrication de toitures légères imperméables et de vêtements métalliques.

Dans les opérations de galvanoplastie, il est une foule de soins et de pratiques délicates qui demanderaient de longs détails, et pour lesquels nous renverrons aux traités spécialement consacrés à ce sujet.

APPAREILS D'INDUCTION

L'électricité développée à la surface seulement par le frottement abandonne facilement les corps où elle a été développée; il suffit que l'air soit humide pour qu'elle y trouve une conductibilité suffisante, il est donc difficile d'en obtenir des effets constants. Mais il en est autrement de l'électricité fournie par les piles, qui n'a pas la même propension à s'échapper des corps qu'elle traverse et qu'elle pénètre. Aussi, cette électricité peut-elle se transmettre à distance avec une grande rapidité.

Courants d'induction. — Lorsqu'un courant passe dans un fil de cuivre, ce courant développe toujours dans un autre fil de cuivre, enroulé sur un carton près de lui, un autre courant qu'on appelle induit et qui ne se manifeste que lorsque le courant commence et passe près de lui et quand il cesse; mais il est alors moins fort et dans un sens inverse comme s'il était le produit d'un mouvement en retour.

Lorsqu'on place au milieu du courant induit, ou du carton qui est recouvert du fil de cuivre, un morceau de fer doux, il s'y développe aussi des courants électriques induits qui augmentent la force du courant principal.

Appareil Rhumkorff. — L'électricité de la pile voltaïque, grâce à ses réactions qui produisent une grande tension dans les courants d'induction, peut donc être transformée en électricité statique. Mais il fallait pour cela que l'appareil d'induction pût recevoir, sans la perdre, l'électricité statique fournie par la réaction du courant voltaïque. Il était donc nécessaire d'isoler parfaitement les fils en les noyant dans de la gomme laque et en faisant arriver l'extrémité du fil induit sur des colonnes de verre plus isolantes que celles de bois. De plus, comme c'est la multiplicité des spires ou des tours des fils, et non leur longueur, qui augmente l'effet électrique, on a réduit les dimensions des appareils d'induction, sauf dans le sens de la longueur. Enfin pour que le circuit induit ait une très-grande résistance et par suite une grande tension, on choisit des fils très-fins et très-longs, de 8 à 10 kilomètres; puis on ajoute dans l'intérieur de l'hélice un faisceau de fil de fer ou un morceau de fer doux dont les courants magnétiques s'ajoutent et augmentent l'énergie totale.

Dans l'appareil Rhumkorff, le corps de la bobine est en carton mince et les bords recouverts en verre ou en bois recouverts d'une couche de gomme laque; sur cette bobine sont enroulées deux hélices métalliques isolées, l'une de gros fil de 2 mil., l'autre de fil fin n° 16. Les extrémités de ces hélices ressortent et vont s'attacher, ceux du gros fil sur des colonnes de cuivre, ceux du fil fin sur des boutons placés sur des colonnes

de verre. Toutes les fois qu'un courant direct naît ou cesse dans le premier circuit, un courant induit, inverse ou direct, se manifeste dans le second. On se sert, pour faire passer le courant, d'une pile dont les éléments n'ont pas besoin d'être très-nombreux pour que l'appareil ait une grande puissance. Tel est sommairement l'appareil Rhumkorff, qui, construit par un ancien ouvrier, a obtenu, en 1855, le grand prix de 50,000 fr., institué pour récompenser les découvertes scientifiques.

Quand on interpose entre le courant inducteur de l'appareil un condensateur métallique, on obtient des étincelles de deux centimètres d'étendue, qui traversent l'air en dards bruyants et crépitants, beaucoup plus intenses que les étincelles des anciennes machines électriques. Et comme le courant qui produit ces étincelles a pour source l'action chimique qui se produit dans la pile, la quantité d'électricité que la bobine d'induction de Rhumkorff peut donner est en quelque sorte illimitée, tandis qu'il n'était pas possible de maintenir toujours en frottement les disques des anciennes machines.

Electro-aimants à fils nus. — On a du reste, dans ces derniers temps, reconnu qu'on pouvait se dispenser d'entourer les fils des électro-aimants de leur enveloppe actuelle de fil de soie si dispendieux et que la puissance des électro-aimants n'en était pas diminuée et peut-être même en était accrue.

C'est un mécanicien, M. Carlier, qui a remarqué que l'enveloppe isolante, soie, coton,

gutta-percha, dont on recouvrait le fil métallique des électro-aimants était assez peu utile. Il expérimenta donc des fils nus, non enveloppés ; l'énergie des courants fut non-seulement égale, mais même quelquefois doublée, l'économie qui en résulte est considérable, et l'on peut obtenir avec des organes plus petits les mêmes effets électro-magnétiques mais plus prompts. Enfin il n'y a pas d'extra-courant développé, pourvu que les couches de spires soient séparées par des enveloppes de papier, et que les bobines soient en bois ou en cuivre avec garniture isolante. Les contacts imparfaits des spires présentent une grande résistance dans l'axe de l'hélice et les dériva-tions peu intenses mais nombreuses qui s'o-pèrent entre les spires juxtaposées, au lieu de nuire à la force, l'augmentent et superposent les flux électriques forcés de passer par l'hélice.

On a, du reste, des électro-aimants pesant 375 kil. et pouvant porter sept hommes à la fois.

EFFETS ÉLECTRIQUES DE CES APPAREILS.

Commotions électriques, lumière, étin-celles. — Les grandes bouteilles de Leyde don-nent des commotions qui peuvent tuer des chats, des rats, etc., et qui se font vivement sentir dans les bras et dans la poitrine lors-qu'on touche leurs deux garnitures extérieu-re et intérieure. On forme ainsi un arc de communication qui favorise la recomposi-

tion des électricités et qui produit le choc que l'on ressent.

Lorsqu'on veut produire, sans la ressentir, cette recomposition, on se sert d'un excitateur ou arc métallique terminé par deux boules, et qu'on tient à la main par des poignées isolantes en verre, comme des branches de ciseaux. L'électricité de la bouteille passe sur les boules, et en mettant celles-ci en contact l'une avec l'autre, on obtient sans danger la neutralisation électrique.

Oeuf électrique. — La recomposition des deux électricités qui s'opère entre des corps conducteurs donne toujours une vive lumière, d'autant plus vive que les conducteurs condensent bien; la couleur de l'étincelle varie avec les substances entre lesquelles elle se produit, qu'elle volatilise et dont elle transporte de très-petites parties: elle est jaune entre deux cônes de charbon, verte avec du cuivre argenté, rouge avec des boules d'ivoire, rouge aussi dans un vide imparfait où l'air n'est que raréfié, violette dans le vide, blanche dans l'air. On observe tous ces effets dans l'œuf électrique, globe de verre ovoïde, où pénètrent deux boules de laiton qui servent à recomposer l'électricité.

On fait le vide dans cet œuf électrique, qui est construit en verre et où aboutissent les deux boules d'un conducteur métallique, dont chacune communique avec un des pôles, positif ou négatif, de la pile; puis on y introduit différents gaz pour remplacer l'air; l'aspect de la lumière électrique est alors fortement modifié. De la vapeur d'essence de téré-

benthine ou d'esprit de bois, de l'alcool, du sulfure de carbone, donnent des séries de zones alternativement brillantes ou obscures et colorées.

La lumière n'est, du reste, pas continue lorsque le courant d'induction est discontinu; mais plus ce courant est rapide, plus les décharges qui se succèdent sont rapprochées; on dirait alors qu'elles procèdent de deux mouvements qui rappellent les deux mouvements des cordes sonores, l'un giratoire, l'autre ondulatoire, c'est-à-dire l'un produisant des vibrations transversales en fuseau, l'autre produisant des ondulations longitudinales et sphériques.

Ordinairement, la lumière du pôle positif paraît rouge, tandis que celle du pôle négatif est violette; mais ces colorations varient avec la nature du gaz ou de la vapeur contenue dans l'œuf électrique.

La chaleur produite par l'étincelle électrique à l'aide des bouteilles de Leyde n'est pas moins intense que la lumière; elle enflamme l'alcool et l'éther instantanément; rougit jusqu'au blanc un fil d'acier et le fait brûler avec une vive lumière; et fond et volatilise des fils d'or, d'argent, de platine, les plus réfractaires de tous les corps.

Les décharges électriques produisent en outre de puissants effets mécaniques; elles percent le verre; brisent le bois et les pierres, ébranlent les liquides, et nous pouvons ainsi reproduire les déchirements, les ruptures, les expansions brusques qu'on remarque dans les effets de la foudre.

Mais les piles produisent des effets encore plus puissants, car on a pu fondre le platine, qui résiste aux plus grands feux de forge et même ramollir du charbon très-pur, qu'on n'avait jamais encore pu fondre.

Tous les autres métaux se volatilisent aisément, et brûlent, le fer et le platine en blanc; le plomb en rose; l'étain et l'or en blanc bleuâtre; le zinc en rouge blanc; le cuivre et l'argent en vert.

Du reste, la quantité de chaleur dégagée ainsi est plus grande lorsque la quantité d'électricité croît et que les fils résistent plus au passage du mouvement électrique.

Deux fils métalliques mis en communication avec les deux pôles d'une pile électrique ne donnent qu'une étincelle faible lorsqu'on les réunit l'un à l'autre de manière à établir un courant électrique.

Mais si l'on prend des fils très-longs, de plusieurs centaines de mètres par exemple, et qu'on les enroule sur un rond de carton, en les rapprochant beaucoup les uns des autres, et surtout si on place dans l'intérieur du cylindre de carton un morceau de fer doux, on obtient, en réunissant les deux extrémités des fils, des étincelles très-vives et par suite des commotions très-fortes si on vient à les toucher avec la main.

Si l'on adapte aux extrémités de ces fils deux poignées, de manière à les bien tenir, une douleur insupportable se fait sentir dans les bras lorsque le courant électrique est établi, par l'intermédiaire du corps qui sert de conducteur entre les deux fils positif et

négalif; les bras se tordent, les muscles se contractent et serrent involontairement les poignées; on peut en quelques instants tuer un chat à l'aide de cet appareil,

Le mouvement calorifique ainsi produit est d'autant plus considérable dans un fil, que le courant est plus intense, que le fil est plus petit et qu'il est peu conducteur du mouvement électrique; les métaux qui réunissent ces conditions fondent très-vite et dégagent beaucoup de chaleur.

Avec des piles de vingt et un couples, et surtout, ce qui influe le plus sur la quantité du mouvement produit, avec des piles d'une grande étendue, on obtient des effets calorifiques et lumineux incomparables.

Eclairage électrique. — Quand on fait passer un courant électrique entre deux fils partant de deux pôles opposés de la pile, et qu'on n'établit pas le contact entre ces deux fils, on voit se produire une étincelle qui résulte de la recombinaison des deux mouvements électriques contraires, recombinaison d'équilibre qui développe un très-fort mouvement calorifique qui va jusqu'au mouvement lumineux.

C'est d'après ce fait qu'on construit des lampes électriques où l'on fait jaillir l'arc lumineux de neutralisation entre deux tiges de cuivre, qui communiquent chacune avec un des deux pôles de la pile et qui supportent chacune un morceau de charbon assez peu combustible à l'air, charbons qu'une tige placée derrière eux fait avancer l'un contre l'autre à mesure que la combustion les use et

les fait disparaître. Lorsque l'un de ces deux charbons entre lesquels l'arc lumineux se produit est complètement usé, on est parvenu à le remplacer presque instantanément par un autre, mais cependant non pas toujours sans interruption dans la lumière. Cette lumière est du reste trop vive et trop intense pour avoir pu jusqu'ici être employée à autre chose qu'à des illuminations de rues, de places, de théâtres et d'espaces considérables.

Il faudrait trouver le moyen de diviser la lumière électrique, de diffuser son éclat comme celui du soleil, de manière que les ombres ne soient pas trop noires et trop heurtées, mais permettent encore la vision nette et distincte. Or, la lumière électrique actuelle n'est encore qu'aveuglante et de plus elle coûte cher. On a cependant construit des lampes de mineur, qui n'emploient pas de cônes de charbon, mais une sorte d'œuf électrique où l'air raréfié donne une lumière douce; ce vide partiel est d'un cinquième d'atmosphère; le foyer lumineux est assez large et l'on peut lire assez facilement à la lueur de cette lampe. En imitant et en perfectionnant cette invention, on parviendra peut-être à faire entrer la lumière électrique dans l'usage journalier.

La lumière électrique si intense, qu'on produit par la combustion de deux charbons, peut remplacer la lumière solaire en photographie; mais elle est trop intense pour ne pas fatiguer les yeux lorsqu'on veut la faire servir à tirer des portraits. Elle a donc la

même action chimique que le soleil, et peut développer la matière verte des plantes, comme celui-ci. Toutefois, son intensité chimique ne paraît être que d'un cinquième de celle du soleil (235 par rapport à 1000). Mais en triplant les surfaces des piles qui produisent cette lumière, on peut arriver à une intensité qui soit le tiers de celle du soleil.

Vitesse. — La lumière électrique a une haute tension dure moins d'un millionième de seconde.

Dans un fil de fer de 4 mil., l'électricité se propage avec une vitesse de 101,710 kil. par seconde.

Dans un fil de cuivre de 2m 5, cette vitesse est de 180,000 kil. par seconde.

Les deux électricités se propagent avec la même vitesse.

La tension de l'électricité, l'intensité du courant, le nombre et la nature des éléments de la pile n'influent pas sur cette vitesse.

La vitesse augmente bien avec la conductibilité des métaux, mais sans rapport proportionnel, et sans que la section ou le diamètre des fils ait de l'influence.

Wheatstone donnait à l'électricité une vitesse de 192,800 lieues par seconde; c'est peut-être un peu exagéré si on compare ce nombre à ceux qui sont cités plus haut.

Étincelle d'induction. — L'étincelle d'induction, au lieu de présenter un simple trait de feu, comme l'étincelle des machines électriques, présente autour de ce trait instantané une espèce d'auréole ou d'atmosphère

lumineuse. Un courant d'air, un souffle, un corps en mouvement comme le doigt, un aimant, entraînent et déplacent cette auréole, qui peut même être séparée sans que le jet de feu de l'étincelle en soit affecté. Cette atmosphère paraît avoir une action calorifique supérieure à celle du jet lumineux qu'elle enveloppe, car lorsque les effets calorifiques disparaissent, l'atmosphère elle-même disparaît. Ce n'est probablement que de l'air échauffé, où l'électricité produite par une dérivation du courant est en grande quantité, tandis que le jet de feu contient l'électricité à une haute tension.

Cette atmosphère présente du reste deux effluves lumineuses, l'une rouge au pôle positif, l'autre bleue au pôle négatif.

Lorsque cette lumière éclate dans des gaz différents, non-seulement elle se colore, mais encore ses couches parallèles, séparées par des espaces obscurs, donnent des colonnes lumineuses colorées qui, en obéissant à l'action des aimants, prennent des mouvements de translation et de rotation, au moyen desquels on a pu reproduire les apparences des aurores boréales.

Lorsque le pôle négatif de l'appareil Rhumkorff est terminé par un fil très-fin et que le courant est établi, ce fil est brûlé, tandis que l'autre pôle ne rougit même pas.

L'étincelle est du reste influencée par un courant ou un mouvement de l'air, et prend alors l'apparence de filets lumineux contournés en zigzag. Lorsqu'on interpose la flamme d'une bougie ou d'une lampe, dans le circuit

électrique, cette flamme est allongée et déviée de la ligne droite.

Cette étincelle combine l'oxygène et l'hydrogène et produit de l'eau ; elle apparaît même dans les liquides et dans le vide, où elle produit aussi une belle lumière en fuseau au pôle positif, tandis qu'elle donne une lumière très-limitée et bleue au pôle négatif.

On se sert de l'étincelle d'induction pour porter à une grande distance des décharges qui produisent des inflammations instantanées. On peut ainsi allumer de très-loin les amorces qui doivent déterminer l'explosion des mines, soit sous terre, soit sous l'eau, et dans les guerres d'Amérique et de Chine, on a fort bien réussi à faire ainsi sauter des ouvrages éloignés et solides.

Elle peut par conséquent être également employée pour l'exploitation des carrières, le percement des tunnels, et toutes les opérations où il faut enflammer la poudre à distance.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRO-MAGNETISME.

Electro-magnétisme. — Les mouvements magnétiques qui se produisent dans les corps sont tout à fait identiques à ceux que l'électricité manifeste. Ils suivent les mêmes lois, opèrent également à distance, et s'exercent à travers toutes les substances même peu magnétiques, comme le verre, le papier, le bois. On peut, sous l'influence de l'électricité, faire du fer un aimant, lorsqu'il est pur et à

l'état de *fer doux*. C'est grâce à cette découverte de l'aimantation du fer par l'électricité qu'on a pu construire les électro-aimants, et par suite les télégraphes électriques. (V. plus loin *Magnétisme*).

Télégraphe électrique. — La vitesse avec laquelle l'électricité communique le mouvement d'un point à un autre est, comme on le sait, excessivement rapide. Si donc on pouvait faire de ce mouvement un moyen de transport pour les dépêches, car on ne peut encore songer à lui faire transporter autre chose, ce serait déjà un immense progrès. On y parvient au moyen du télégraphe électrique.

On se sert pour cela d'une pile établie au lieu de départ (Paris par exemple), qui communique l'électricité. Le courant électrique passe par un fil métallique, qui part du pôle positif et qui va, jusqu'à la station d'arrivée (Orléans par exemple), s'enrouler un très-grand nombre de fois autour d'un fer disposé en fer à cheval, dont il fait ainsi un électro-aimant. Puis, le fil revient ensuite s'attacher au pôle négatif de la pile. Il est facile de faire passer le courant de la pile dans ce fil, d'interrompre ce courant à volonté, en faisant cesser la communication du fil et du pôle positif de la pile; par là on aimante le fer à cheval d'Orléans lorsque le courant passe dans le fil enroulé autour de lui, puis on supprime cette aimantation en arrêtant la communication. A Orléans, on dispose près des pôles du fer à cheval aimanté un morceau de fer doux,

mobile, qui peut être attiré par l'aimant lorsque le courant, en passant, établit l'aimantation du fer à cheval. Si donc on fait passer le courant, l'aimant attire le fer mobile; si le courant cesse de passer, le fer se détache de l'aimant et en reste séparé.

Supposons maintenant qu'à Paris on mette le fil en communication avec la pile au moyen d'un bouton qui porte une aiguille à son centre, et qui fait en même temps tourner une roue qui, par ses dents, touche et quitte alternativement un montant métallique par où passe le fil pour quitter l'appareil de départ.

Lorsque le bouton fait mouvoir la roue, une dent vient frapper le montant, et la communication entre le fil et la roue s'établit, le courant passe; lorsque le montant se trouve entre deux dents sans en être touché, le courant électrique ne passe pas le long du fil.

Or la roue et ses dents sont disposées de manière que le courant cesse lorsque l'aiguille est arrêtée sur une lettre d'un cadran circulaire sur lequel elle peut tourner. De sorte que lorsque l'on fait tourner l'aiguille pour la placer sur une autre lettre, une des dents de la roue frappe le montant, le courant s'établit mais s'interrompt de nouveau légèrement lorsque l'aiguille traverse la barre de séparation de chaque lettre, et s'interrompt tout à fait lorsqu'elle s'arrête sur une lettre nouvelle.

Pendant ce temps, à la station d'arrivée, la barre de fer qu'attire l'aimant lorsque le cou-

rant passe supporte également une aiguille qui parcourt un cadran semblable à celui de Paris ; cette aiguille est gouvernée par une roue dentée qui vient frapper sur deux chevilles adaptées à deux branches de la pièce de fer.

Lorsque le courant s'établit, la pièce de fer est attirée, une des chevilles est poussée et fait marcher la roue de manière à amener l'aiguille sur les mêmes lettres qu'à Paris.

Télégraphe de Morse. — L'appareil le plus employé aujourd'hui est le télégraphe de Morse, beaucoup plus simple que le télégraphe à cadran, et qui de plus écrit lui-même ses dépêches.

A la station de départ un petit bouton métallique pèse à l'extrémité d'une tige élastique, laquelle tend toujours par suite de son élasticité à former levier. En pressant le bouton on le fait toucher à une virole métallique disposée sous lui, et qui communique avec deux autres boutons auxquels sont attachés les fils positifs et négatifs. Le courant s'établit alors, et il suffit de laisser le ressort abandonné à lui-même pour que le courant s'interrompe.

A la station d'arrivée deux électro-aimants verticaux, autour desquels s'enroulent les fils métalliques, attirent une plaque placée horizontalement près de leur extrémité supérieure. Cette plaque est liée à un levier qui porte un poinçon. Lorsque le courant s'établit, la plaque s'abaisse, l'extrémité qui porte le poinçon s'élève et rencontre une bande de papier qui, enroulée en grande masse

sur un disque tournant, avance continuellement. Lorsque le courant est établi, le poinçon marque une trace sur le papier qui s'avance toujours. Si le courant est brusquement interrompu, le poinçon ne marque qu'un point ; si le courant dure un peu plus longtemps, le poinçon reste plus longtemps levé, et trace une ligne sur le papier, de sorte qu'à volonté, on peut lui faire écrire sur ce papier ce que l'on veut, en convenant que les points et les lignes, disposés d'une certaine manière, représenteront les lettres, et qu'on mettra entre chaque lettre un certain intervalle, et entre chaque mot un temps plus grand. Les intervalles sont marqués sur le papier par des espaces blancs. Ainsi un point et une ligne représentent l'*a* ; deux points l'*i*, etc.

Voici du reste l'alphabet aujourd'hui usité :

..—a.	..—f	..—l	—.—q	...—v
—...b	—...g	—m	...—r	...—w
—...c	...—h	—n	...—s	...—x
—...d	..i	—o	—t	...—y
..e	—j	—ô	...—u	...—z
...—é	—k	—p	...—ü	

Ce système est actuellement le plus généralement employé, car il imprime suffisamment nettement lui-même les dépêches.

Cependant en Angleterre on fait encore usage d'un télégraphe à aiguilles aimantées, mises en mouvement par deux poignées qui font circuler ou interrompent le courant au-

tour d'elle. La déviation de l'aiguille sous l'action du courant sert à marquer les lettres. Une déviation de l'aiguille gauche, deux de la droite signifient l'e; une déviation de la gauche, une de la droite, a, etc.

La terre, comme les liquides, est un excellent conducteur de l'électricité, et l'on peut s'en servir pour remplacer le fil de retour d'un télégraphe électrique, pourvu que le fil conducteur d'aller et retour se termine par une plaque enterrée dans le sol, et que la pile du départ communique avec la terre de la même manière. Plus ces plaques sont grandes et la terre humide, plus la faculté de transmission de la terre est grande, et lorsque le fil est petit, la pile agit à une bien plus grande distance; plus le mouvement est long, plus la terre offre d'avantages.

On a même réussi à faire traverser le courant à une rivière sans aucun fil conducteur, à l'aide de plaques de cuivre placées sur les deux rives.

Télégraphe à clavier. — Le piano enregistreur ou l'imprimerie électrique de l'américain Hughes est une autre application de la puissante vitesse de l'électricité. On dispose, à Paris et à Marseille par exemple, deux cadrans identiques, offrant les 24 divisions ou 24 lettres de l'alphabet. Chaque cadran porte une aiguille mue par un poids qui lui fait faire cent vingt tours à la minute. La précision des machines est telle, que si les deux aiguilles partent en même temps d'un point du cadran quelconque, mais identique pour tous les deux, elles passent toujours au mo-

ment précis sur les mêmes lettres des deux cadrans. Chacun des appareils possède une roue d'imprimerie correspondant à son aiguille, roue qui porte sur 24 divisions les 24 lettres de l'alphabet. Ces lettres sont amenées par la roue vis-à-vis une bande de papier qui se déroule sans cesse.

Alors, quand la lettre A est marquée par l'aiguille à Paris sur le cadran, elle l'est aussi à Marseille; la lettre A de la roue est amenée vis-à-vis du papier, et celui-ci par un petit mouvement se rapproche de la roue et reçoit l'empreinte de la lettre A. C'est l'électricité qui détermine ces mouvements; il suffit pour cela, à la station de départ, d'abaisser la touche A sur le clavier de piano que possède l'instrument. Ce clavier contient les 24 lettres de l'alphabet, et l'on peut jouer dessus comme sur un piano, composer des mots avec les lettres que marque chaque touche, et faire imprimer ces mots, par conséquent, à Marseille.

La rapidité des transmissions est réellement inouïe; quelle que soit la rapidité du mouvement des doigts sur le clavier du départ, la dépêche est imprimée à l'appareil d'arrivée.

Si l'on mettait, dit M. Dumas, à profit dans cet instrument les prodiges de doigté dont les femmes font preuve dans l'étude du piano, on verrait des sténographes d'un nouveau genre imprimer un discours simultanément dans plusieurs villes, à Strasbourg, Marseille, Bordeaux, pendant qu'on le prononcerait à Paris. Il suffirait d'établir dans

ces villes des appareils en communication avec celui de Paris.

Dans le télégraphe à clavier, le courant électrique ne sert qu'à embrayer ou à désembrayer la roue qui soulève la bande de papier, car tout le reste marche par le poids de 50 kilogr. qui fait mouvoir l'aiguille.

Dans le télégraphe enregistreur électrochimique de Bain, l'électricité joue un rôle plus actif, car elle sert à imprimer en signes colorés. Un papier imprégné de cyanure jaune de fer et de potassium est décoloré par le courant d'une pile locale établie au poste qui reçoit la dépêche; toutes les fois que ce courant passe au travers du papier, un trait bleu est marqué sur le papier à chaque fois, par suite de l'action chimique de l'électricité.

Pantographe Caselli. — Avec le pantographe Caselli, le destinataire reçoit les dépêches réellement écrites de la main de l'expéditeur, et non-seulement l'écriture, mais les marques de fabrique, les dessins, la signature, etc.

Cet instrument, aujourd'hui adopté par l'administration télégraphique française, consiste en une pointe qui circule sur une feuille de papier recouverte d'une matière métallique, et sur laquelle on a tracé les lettres, les lignes, etc., avec une encre non conductrice de l'électricité : chaque fois que la pointe passe sur le métal, le courant circule du bureau expéditeur au bureau d'arrivée; mais il s'interrompt lorsqu'il rencontre les traits tracés à l'encre qui interceptent le mouvement électrique. Au bureau de réception,

une pointe en communication avec le fil télégraphique circule sur une feuille de papier préparée de même, et métallisée, et les traits inscrits se reproduisent par les interruptions de courant. Il y a là bien moins de chances d'erreur, moins de responsabilité pour les employés, plus grande authenticité des correspondances, et économie de main-d'œuvre.

Aujourd'hui, pour tous ces télégraphes, on se contente d'un seul fil allant d'une station à l'autre; on se borne à mettre le fil négatif à l'arrivée et au départ en communication avec la terre, et le courant revient du télégraphe d'arrivée au télégraphe de départ, conduit uniquement par la terre.

Le fil positif est au contraire isolé de la terre, pour que le courant ne s'égaré pas, et on le suspend à des poteaux placés le long des lignes de chemin de fer à l'aide d'attaches peu conductrices telles que des godets de porcelaine renversés pour éviter l'humidité.

On n'emploie qu'un fil pour correspondre dans un sens ou dans un autre; on se borne à mettre le fil conducteur en rapport avec l'appareil d'envoi ou d'arrivée, selon qu'on expédie ou qu'on reçoit une dépêche.

En effet, deux courants inverses peuvent coexister dans un même fil télégraphique sans se troubler, car c'est le résultat de la connexité des petits mouvements qui marchent en sens contraire sans se détruire.

Télégraphes sous-marins. — On établit aussi des télégraphes sous-marins où les fils

conducteurs sont isolés de la mer, très-conductrice elle-même, par des couches de gutta-percha, matière isolante de l'électricité qui l'empêche de se perdre dans le liquide qui l'environne. Beaucoup de ces télégraphes fonctionnent aujourd'hui, malgré d'assez fréquentes ruptures des câbles électriques posés au fond de la mer, et qui pèsent souvent de 100 à 200 mille kilogrammes. Ces câbles, qui ont souvent plus de 100 kilomètres de longueur, sont formés de fils de cuivre pour conducteurs, entourés de fils de fer et de gutta-percha, qui lui forment une sorte de gaine imperméable.

Horloges électriques. — Le système de transmission du télégraphe électrique de Morse a été appliqué à la transmission de l'heure exacte aux diverses horloges, soit d'un établissement, soit d'une ville, de manière à faire donner à toutes en même temps les mêmes indications concordantes.

Il suffit pour cela de mettre le balancier ou pendule d'une horloge régulatrice en contact facile avec un courant électrique; on dispose pour cela, de chaque côté de ce pendule, deux lames métalliques à chacune desquelles est attaché l'un des deux fils positif ou négatif de la pile. Le balancier, en touchant alternativement chacune de ces lames, établit le courant entre elles, courant qui s'interrompt pendant le trajet de l'oscillation du balancier. Or, le fil positif communique avec un cadran sans mouvement d'horlogerie, et où une aiguille est seule disposée pour marquer les secondes, minutes et heures; le fil

va s'enrouler sur un électro-aimant posé derrière le cadran. Cet aimant attire à lui, lorsque le courant passe, une lame de fer qui, comme dans le télégraphe à cadran, fait marcher une roue, et par elle l'aiguille du cadran. Si le courant cesse, l'aiguille reste immobile, et, comme par suite du mouvement du balancier qui établit le courant toutes les secondes, l'aimant attire la pièce de fer aussi toutes les secondes, il se trouve que celle-ci fait marquer à l'aiguille toutes les secondes avec une régularité parfaite.

Ce cadran peut se placer en un endroit très-éloigné de l'horloge régulatrice, qui peut, du reste, transmettre également le mouvement à un certain nombre d'autres cadrans. Dans quelques villes de Belgique, on a placé des cadrans de ce genre dans les lanternes à gaz, et plusieurs de nos gares de chemin de fer emploient ce moyen économique pour régler leurs horloges.

Métier électrique à tisser de Bonelli. — Lorsqu'il s'agit de fabriquer la toile, le tisserand soulève alternativement les fils pairs et impairs de la chaîne, dans le sens de la longueur; puis il fait passer à chaque fois, par un coup de la navette, petit bateau qui sert d'aiguille et qui porte le fil, il fait passer, disons-nous, le fil de trame entre eux, c'est-à-dire dans le sens de la largeur. Voilà pour la toile ordinaire. Mais lorsqu'on veut produire un dessin avec les fils mêmes de l'étoffe, soit avec des fils de différentes couleurs, soit avec des fils semblables, il faut soulever les fils de chaîne dans un ordre déterminé, qui

n'est pas le même à chaque coup de navette, qui varie suivant le dessin à produire, afin que chaque ligne ou chaque point ou portion correspondante du dessin se produise sur toute la trame. C'est ce que les tireurs de lacs exécutaient jadis à la main avec beaucoup de peine et aux dépens de leur santé; c'est ce que produisent très-facilement les cartons percés de trous, inventés par Jacquart, correspondant aux numéros des fils de chaîne qui, à chaque coup de navette, doivent être soulevés. L'électricité obtient un résultat bien plus prompt encore; on se sert d'un carton métallique, couvert d'un dessin non conducteur de l'électricité, et fait avec une substance qui ne permet pas à un courant électrique de se produire, et sur lequel passent des pointes métalliques qui correspondent à chaque fil de chaîne. Lorsque ces pointes touchent le métal ou la feuille d'étain plaquée sur le carton, le courant s'établit et les fils de chaîne s'élèvent et laissent passer les fils de trame; lorsque les pointes touchent le dessin, le courant ne peut avoir lieu; il s'interrompt, les fils restent immobiles, et la navette continue sa course en passant son fil de trame sous les fils de chaîne qui le recouvrent.

La délicatesse des organes de ce métier a jusqu'ici empêché de l'employer très-généralement; mais le principe sur lequel il est fondé est ingénieux et pourrait recevoir, dans d'autres industries, des applications utiles; c'est pourquoi nous en avons parlé.

Moteurs électriques. — Quant aux moteurs

électriques, ils n'ont pas encore pris dans l'industrie une place bien considérable. Le principe qui a dirigé leur construction est toujours celui que nous avons vu fonctionner dans le télégraphe électrique. Un courant rend un fer doux aimanté, et lui fait attirer une pièce quelconque qui transmet elle-même le mouvement utile à divers organes mécaniques. Parfois, lorsque le courant est interrompu, cette pièce attirée continue son mouvement, puis, réattirée de nouveau en sens inverse, reprend son premier chemin, et acquiert ainsi un mouvement de va-et-vient; ou bien ce fer doux communique son mouvement à un balancier qui fait tourner un volant; ou bien encore une série d'électro-aimants mettent en rotation le fer doux lui-même qui, attiré par le premier, l'est ensuite par le second, ainsi de suite, de manière à exécuter un mouvement circulaire.

Tous ces appareils sont encore aujourd'hui plus coûteux que productifs, et ne peuvent entrer en lutte avec les plus minimes machines à vapeur au point de vue du travail et de l'économie produite. Ils servent seulement pour certaines opérations scientifiques de précision; toutefois, il est juste de mentionner les sonneries électriques; très-ressemblantes aux télégraphes, qui paraissent prendre dans la vie ordinaire une certaine extension.

ÉLECTRICITÉ DANS LES ÊTRES VIVANTS

Poissons électriques. — Mais il est une série de phénomènes du même ordre non moins intéressants à étudier ; ce sont les animaux, tels que le gymnote ou anguille de Surinam, la torpille ou raie électrique, le silure, etc., qui, touchés par un corps non conducteur, comme le corps humain, donnent des commotions électriques très-violentes, qui produisent chez l'homme une vive secousse et un engourdissement profond.

Le gymnote en particulier doit cette propriété à deux organes distincts placés de chaque côté de sa tête, et composés de milliers de petits tubes parallèles, ayant 6 côtés, et dont une des extrémités sort par la peau de dessus, et l'autre par celle du dessous. Une torpille a présenté jusqu'à 1182 de ces tubes qui sont traversés par des petites membranes, qui séparent un produit composé d'albumine et de gélatine, et qui reçoivent de nombreux filets nerveux. Les contractions ont lieu à la volonté de l'animal, car on peut toucher les organes sans rien ressentir ; toutefois, il est possible en les irritant d'obtenir des étincelles, les points de l'organe qui s'ouvrent sur le dos étant électro-positifs, relativement aux autres points de la face dorsale, et les points correspondants sur la face abdominale étant électro-négatifs. Des muscles compriment ou étendent ces organes, et peuvent fournir plusieurs décharges rapides de suite. C'est ainsi que ces poissons étourdis-

sent leur proie ou se défendent contre leurs ennemis.

Du reste, on peut couper toutes les parties qui environnent l'organe et même celui-ci à demi, en ôter la peau, les cartilages, les tubes, les muscles, sans que l'animal perde sa faculté. Son cerveau, partagé comme tous les cerveaux en 4 lobes ou sorte de demi-sphères, conserve sa faculté tant qu'il n'y a que les 3 premiers lobes de détruits et que le 4^e subsiste; mais celui-ci attaqué et détruit, le pouvoir électrique disparaît, même lorsque le reste du cerveau subsiste; c'est donc ce 4^e lobe avec ses nerfs et l'organe même qui sont le siège de l'action électrique. Si l'on touche la partie droite du 4^e lobe, c'est l'organe droit qui fonctionne; si l'on le touche à gauche, c'est l'organe gauche; lorsqu'un lobe est touché, on obtient une contraction, et le courant électrique va du dos au ventre; si le lobe est blessé ou déchiré, le courant va indifféremment du dos au ventre et du ventre au dos.

Chaque décharge des poissons électriques est suivie d'un affaiblissement, comme après nos efforts musculaires; le cerveau élabore chez eux l'électricité, comme une arme défensive; dans d'autres êtres, cette électricité peut servir à la formation des sécrétions, digestions, etc. On remarque d'ailleurs que les torpilles, qui respirent plus que les autres, ont une force plus grande, et que lorsque la température de l'eau baisse, elles perdent leur faculté; elles ont besoin d'au moins 27° pour avoir toute leur énergie.

Jusqu'à présent toutefois, les expériences de ce genre n'ont pas beaucoup éclairé sur le rôle de l'électricité dans le phénomène de la vie.

On sait bien que tous les tissus et les liquides des corps des animaux réagissent chimiquement les uns sur les autres et produisent des effets électro-chimiques; qu'une lame de platine, par exemple, placée sur la peau qui secrète une liqueur acide, et une autre lame placée dans la bouche qui secrète une liqueur alcaline donnent un courant électrique qui va de la bouche à la peau; qu'il en est de même de l'estomac mis en rapport avec les sécrétions alcalines du foie, et qu'un courant part alors du foie à l'estomac. On sait encore que la contraction volontaire de l'un des bras de l'homme suffit pour produire un courant électrique appréciable, et que toute irritation nerveuse est l'état du nerf qui détermine la contraction du muscle dans lequel il se ramifie; mais on ne sait pas encore exactement le rôle et l'importance que ces actions électriques peuvent avoir dans l'économie.

Quoi qu'il en soit, il est intéressant de rappeler que, dans l'exemple de la grenouille que nous avons cité tout à l'heure, les nerfs fournissent l'électricité positive, et le muscle l'électricité négative; que, par suite, le courant électrique passe des pieds à la tête, et que ce courant est beaucoup plus fort sur les grenouilles vivantes. On peut même former une sorte de pile électrique à l'aide d'une pile de grenouilles dont on fait com-

muniquer le muscle de la jambe de l'une avec le nerf lombaire ou du bas du dos de l'autre.

On a remarqué également que les animaux asphyxiés, surtout les lapins, sont très-promptement rappelés à la vie même après une demi-heure d'asphyxie, lorsqu'ils sont placés entre les deux pôles d'une pile. Enfin sur les cadavres récemment privés de vie, l'action électrique produit des mouvements extraordinaires, qui semblent continuer l'action vitale.

Electricité médicale. — Depuis la construction des piles électro-chimiques dont les effets sur l'organisation animale sont très-intenses, on a essayé de les utiliser pour le traitement de certaines maladies, telles que la goutte, les rhumatismes, les maux de tête, et surtout les paralysies; on fait pour cela passer le courant électrique au travers ou alentour des organes affectés, au moyen de deux ou plusieurs plaques métalliques que l'on met en communication avec chacun des deux pôles de la pile. Malheureusement les effets salutaires ainsi obtenus sont de courte durée; il faudrait pouvoir en prolonger l'influence des semaines et des mois. C'est ce qu'on a essayé de faire au moyen de ceintures, de chaînes électriques composées de deux métaux différents que le contact avec les sécrétions acidulées de la peau rend le siège d'un développement électrique.

Dans les piles de Pulvermacher, qui servent en médecine, deux fils, l'un de zinc, l'autre de laiton, sont enroulés en hélice sur un

petit cylindre en bois de deux à six centimètres, sans se toucher; en plongeant le tout dans du vinaigre ordinaire, on obtient par les deux métaux et le bois humide une pile, et si l'on réunit 50 à 60 éléments semblables, on obtient facilement des piles à forte tension, c'est-à-dire à réaction électrique assez forte, par suite de la répulsion des mouvements électriques de même nom. Plus on veut que la tension soit forte, plus il faut multiplier le nombre des éléments.

Electricité atmosphérique.—L'atmosphère possède habituellement un mouvement électrique décomposé; en général, ce mouvement est positif, au moins dans les temps sereins, c'est-à-dire que le courant électrique part du nuage pour aller à la terre. Mais les nuages, les brouillards, les pluies modifient l'intensité de ce courant ainsi que sa nature. Du reste, plus l'on s'élève dans l'atmosphère et plus on y trouve une quantité abondante d'électricité soit négative, soit positive, et chaque jour, pour ainsi dire, la nature du mouvement électrique de l'air change.

On a constaté que l'évaporation des liquides alcalins qui tiennent une si grande place sur la surface du globe, produisent toujours de l'électricité; la vapeur d'eau qu'elle contient prend alors le caractère positif, et l'alcali, soude, potasse, baryte, etc., le mouvement négatif; tandis que les liquides qui, comme la mer, tiennent en dissolution des sels comme le sel ordinaire ou chlorure de sodium, ou des acides, prennent l'électricité positive lorsqu'ils s'évaporent, et la solution

salée ou acide qui reste sur le sol, le mouvement négatif. On voit que la vaste étendue des mers doit, par l'évaporation continuelle qu'elle subit, dégager de l'électricité dans l'atmosphère.

L'atmosphère contient plus d'électricité libre, c'est-à-dire l'une des deux tendances électriques positive ou négative, en été qu'en hiver ; la chaleur contribue à ce résultat, car les variations produites chaque jour par elle ont une étendue double en été. Il se manifeste, par exemple, un maximum d'accumulation avant le lever du soleil et une heure après son coucher, puis deux minimum, l'un une heure ou deux après le lever du soleil, l'autre vers deux heures du soir en hiver, quatre à cinq heures en été.

L'eau, qui tombe en pluie, neige, grêle ou grésil, est toujours électrisée, et plus fortement en été qu'en hiver. La terre elle-même doit son genre d'électricité aux actions qui s'opèrent dans son sein et à sa surface, par le moyen des corps plus ou moins bons conducteurs qu'elle renferme.

La pluie et la neige accélèrent l'écoulement de l'électricité atmosphérique dans le sol, mais l'évaporation de l'eau pure ne produit aucun effet électrique dans l'air ; du reste, à la surface terrestre, l'eau n'est en réalité jamais pure.

Electricité terrestre.—C'est encore le frottement des molécules d'eau emportées par la vapeur contre les corps solides qui, dans l'évaporation, produit de l'électricité.

Quant à la terre, il se produit toujours de

l'électricité au contact des eaux ; la terre prend l'une ou l'autre électricité, inverse de celle que prennent les eaux, selon que celles-ci contiennent des sels en dissolution. Deux terrains humides en contact prennent soit de l'électricité positive, soit de la négative, selon que les sels qu'ils contiennent sont plus ou moins concentrés.

Près d'une rivière, la terre, les arbres, les maisons ont de l'électricité négative, et la rivière et les plantes qui y séjournent de l'électricité positive ; mais encore ici la nature des substances qui peuvent être dissoutes dans les eaux peut changer ces conditions.

Quoi qu'il en soit, la terre et les eaux doivent toujours verser dans l'atmosphère une électricité quelconque et produire par suite les différences d'électricité qu'on remarque dans les nuages, qui ont alternativement aussi l'électricité positive ou l'électricité négative.

Electricité des plantes.—La végétation des fleurs et des plantes, qui est une combinaison chimique et qui s'accomplit toujours avec un dégagement d'acide carbonique, ou par des combinaisons d'oxygène et de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, par des actions sur l'azote, dégage donc également de l'électricité ; dans ce cas, l'oxygène prend toujours l'électricité positive, et le corps combustible l'électricité négative.

Les végétaux, les plantes, développent donc dans les divers actes de leur existence de l'électricité ; les liquides qui sont contenus

dans les tiges, les fibres, etc., tels que la sève, donnent par leur contact et par suite de leur composition des effets électriques, comme en produisent les liquides divers, sang, humeurs ou sécrétions et qui humectent les tendons, les membranes des animaux.

Ainsi la sève ascendante et la sève descendante produisent de l'électricité ; l'une jouant le rôle d'acide rend libre de l'électricité positive ; l'autre joue le rôle d'alcali et rend libre de l'électricité négative ; elles peuvent faire dévier l'aiguille aimantée de la boussole, de 10°, 15° et plus, comme des électro-aimants.

La moëlle de certains végétaux fournit de l'électricité positive, et l'écorce extérieure de l'électricité négative ; un courant électrique s'établit de l'extérieur à l'intérieur de la plante. Il en est de même entre la terre, qui prend la tendance positive, et les tiges ou les branches, la tendance négative.

En un mot, toutes les plantes, toutes les herbes, offrent des effets électriques. Aussi, dans les régions très-chaudes des tropiques, cela doit influencer sur l'état électrique de l'atmosphère, et il doit y avoir des courants électriques non-seulement dans les végétaux, mais encore entre la terre et les végétaux, puis, par l'évaporation de l'eau et des liquides, entre ces corps et l'atmosphère. Ajoutons qu'on a activé la végétation des plantes en les soumettant à l'action du pôle négatif d'une pile, qui contenait des produits alcalins, tandis que le pôle positif arrêtait et empêchait même cette végétation.

Paratonnerres. — Foudre. — Eclairs. — Pour se rendre compte de l'état électrique des nuages, Franklin, en 1752, lança, près de Philadelphie, aux Etats-Unis, un cerf-volant muni d'une pointe, chargé d'aller puiser l'électricité au sein des nuages mêmes. Lorsqu'une légère pluie eut facilité la transmission du mouvement électrique le long de la corde du cerf-volant, Franklin put tirer de celle-ci de fortes étincelles; il plaça alors sur son habitation une tige de fer, isolée, terminée en pointe, et il reconut, à l'aide d'une sonnerie qu'il avait mise auprès, qu'à l'approche des nuages orageux, la barre de fer donnait des signes de mouvements électriques; telle fut, le 12 avril 1753, l'origine des paratonnerres.

On répéta en France l'expérience du cerf-volant, et M. de Ronas, à Nérac, obtint avec des cordes très-conductrices de chanvre et de fer des étincelles de trois, cinq et huit pouces de long, produisant de fortes explosions et creusant la terre comme le fait la foudre. Dalibard répéta les expériences de Franklin, malgré leur danger, car les expérimentateurs étaient quelquefois renversés, et l'un d'eux, le professeur Richmann, y trouva la mort.

C'est ainsi qu'on arriva à généraliser les bienfaits du paratonnerre, qui préserve nos habitations des ravages de l'électricité atmosphérique.

Ces appareils se composent d'une tige de fer de 10 mètres, terminée en pointe et recouverte à cette extrémité de platine ou de cui-

vre doré que l'humidité n'altère pas ; on la place au sommet et sur les toits des habitations, et elle communique avec le sol, par un conducteur ou corde en fer qui est fixée au pied de la tige et destinée à favoriser la transmission du mouvement électrique du nuage jusqu'à la terre, où il doit aller se perdre ; on tâche autant que possible qu'il communique avec un terrain humide, puits ou citerne ou sol braisé qui favorisent l'écoulement, ce qui est la première condition de l'efficacité de l'instrument. Lorsqu'un nuage en état de mouvement électrique ou de décomposition électrique passe au-dessus du paratonnerre, il a une très-forte tension, bien supérieure à celle de l'atmosphère ordinaire ; il agit sur le paratonnerre et sur le conducteur, décompose leur électricité, refoule dans le sol le mouvement de même sens que lui, semble attirer au contraire le mouvement en sens opposé du sien.

Celui-ci s'écoule facilement par la pointe, sans produire de choc ni d'explosion, parce que sa facile transmission l'empêche d'avoir une grande tension, et, dans le nuage où il se trouve porté, il rétablit peu à peu l'équilibre électrique, tandis que l'autre mouvement électrique repoussé s'écoule dans le sol par le conducteur. Il n'y a jamais accumulation sur le paratonnerre, parce que l'écoulement des mouvements s'accomplit facilement, dans l'air d'un côté, dans le sol de l'autre.

Il est essentiel, pour que la décomposition des nuages puisse se faire à distance, que ce soit une pointe plutôt qu'une boule, qui ter-

mine la tige; que celle-ci soit élevée de 8 à 9 mètres, et d'un diamètre suffisant pour n'être ni fondue ni volatilisée par l'action électrique; or, jamais celle-ci n'a eu d'effet semblable sur une barre de 13 millimètres et de 5 cent. à sa base pour résister au vent.

Un paratonnerre préserve en général de la foudre un espace circulaire superficiel autour de lui d'un rayon double ou triple de sa hauteur. S'il a 9 mètres, le rayon sera de 18 mètres à 26 mètres.

L'éclair de la foudre est un éclair électrique, c'est-à-dire le résultat de la recomposition de l'équilibre électrique, ou, pour mieux dire, le choc de deux mouvements électriques contraires qui paraissent s'attirer. Il faut toutefois que la tension électrique soit assez forte pour combattre et dominer la pression atmosphérique; alors il se produit un choc, qui cause ce que nous appelons le tonnerre et que nous pouvons reproduire en petit dans nos appareils.

Dans le vide plus ou moins complet, ce bruit, qui est évidemment dû au choc de l'atmosphère, ne se fait pas entendre. Quant aux roulements, qui se prolongent souvent pendant fort longtemps, ils sont dus quelquefois au passage de l'éclair dans des couches d'air ayant différents états électriques, et plus souvent à des échos, à des réflexions du son qui se développent soit dans l'atmosphère même, soit sur la terre.

On voit par là que l'effet dangereux de la foudre est produit lorsque l'on a aperçu l'éclair, et que le bruit indique au contraire que

tout danger est passé, puisque la recombinaison électrique est terminée.

Lorsqu'une onde sonore se propage dans des couches d'air de densités différentes, il se forme à chaque changement de couche ou de milieu aérien une onde nouvelle qui se propage comme si la première était réfléchiée; l'intensité reste la même, mais la direction est changée, comme dans le choc oblique d'une balle élastique sur un mur vertical. Dans l'atmosphère, il y a beaucoup de couches d'air qui ont des densités différentes; les vents et d'autres causes changent leur direction, leur température, la quantité de vapeur d'eau qu'ils contiennent; de là naissent de véritables échos qui répètent la première explosion; de là naissent également de nouvelles étincelles électriques qui varient de forme et de direction.

Il est même facile de calculer à quelle distance l'on est des nuages où la recombinaison et le choc se sont effectués, en mesurant le temps qui s'écoule entre le moment où l'on voit l'éclair et celui où l'on commence à entendre le tonnerre. En effet, la lumière nous parvient, on le sait, presque instantanément, surtout à des distances aussi peu éloignées que celles où se trouvent les nuages, tandis que le son met environ une seconde à parcourir plus de 333 mètres, un douzième de lieue; si donc on compte les secondes qui s'écoulent entre l'apparition de l'éclair et le bruit du tonnerre, on pourra compter autant de fois 333 mètres qu'on aura trouvé de secondes; il est bon de se

rappeler que les battements du pouls, en l'absence de montre, marquent à peu près la seconde.

Lorsqu'on entend le bruit au moment même de l'apparition de l'éclair, c'est que le choc électrique a eu lieu très-près de nous.

On dit communément que la foudre tombe; c'est une expression qui n'est pas exacte; le plus souvent nous voyons l'éclair sillonner la nue, et éclater entre plusieurs nuages, qui se décomposent les uns les autres, puis recombinent avec choc leurs mouvements électriques opposés; mais quelquefois aussi les nuages électrisés dans un sens, s'approchent assez de la terre pour décomposer son équilibre électrique par influence ou autrement, et lorsque cette décomposition a eu lieu, les deux mouvements opposés se précipitent l'un vers l'autre avec violence, et par suite l'éclair apparaît, l'explosion se fait entendre comme dans tout choc ordinaire, et la combinaison se faisant à petite distance de la terre ou même à sa surface, il nous paraît qu'il y est tombé quelque chose; tandis qu'il s'est seulement produit une suite de décompositions et de recompositions successives et rapides.

On comprend que plus les corps qui sont à la surface de la terre se décomposent facilement, plus l'air qui les entoure est sec et conducteur, et plus enfin ils sont voisins des nuages, plus ils seront soumis à l'action électrique de ceux-ci. Le voisinage, la distance ont surtout une très-grande importance; quel-

ques mètres d'éloignement en plus ou en moins changent l'état électrique des corps. C'est cette cause, jointe à l'humidité, qui fait que les arbres sont surtout frappés de la foudre, et les plus hauts et les plus forts frappés de préférence. C'est la même raison qui fait que les animaux sont fréquemment frappés dans les plaines, et les hommes aussi lorsqu'ils n'ont pas la précaution de se coucher à terre quand l'orage gronde sur leur tête.

On voit par là combien et pourquoi il est dangereux de se réfugier sous les arbres en temps d'orage, puisque ceux-ci attirent évidemment à eux le mouvement électrique. Les chênes surtout, qui sont bons conducteurs, sont plus dangereux que les pins ou les sapins dont les résines ne permettent pas la circulation de l'électricité.

Du reste, les effets bizarres que produit l'électricité atmosphérique s'expliquent par la plus ou moins facile décomposition des corps terrestres. Comme les éclairs que nous savons aujourd'hui produire avec nos instruments de physique, mais avec plus de puissance, elle fond et volatilise les métaux plus ou moins réfractaires à la décomposition électrique et à la chaleur; lorsqu'elle rencontre des corps résistants ou peu conducteurs, elle les brise, les déchire ou les transporte au loin; elle soulève les meubles, arrache ou fond les objets en métal, et semble, au milieu de ce désordre général, respecter souvent un petit objet placé sur son passage, tandis qu'elle va très-loin en chercher un autre qu'elle emporte, brise ou volatilise; elle met

le feu aux corps facilement inflammables, carbonise les substances, déchire et fend les arbres, troue et laboure la terre, et souvent tue bêtes et hommes sans qu'ils présentent traces de brûlures ou de blessures.

Tous ces effets bizarres tiennent à la plus ou moins grande facilité des corps à combiner leurs mouvements électriques décomposés avec ceux des nuages; mais lorsque le choc a eu lieu, et que la foudre a éclaté, comme on le dit inexactement, il se produit, comme dans le choc de deux balles élastiques, un mouvement en sens contraire, un choc en retour; par exemple, le mouvement négatif parti de la terre et recomposé, choqué par le mouvement positif du nuage, éprouve une réflexion véritable produite par le choc, il revient alors sur son chemin lui-même et détermine un nouveau choc lorsqu'il se recompose en équilibre avec le mouvement en sens contraire de la terre.

Ce choc en retour peut également être produit par la continuation du mouvement positif du nuage, après le choc, vers la terre, et dans le trajet s'effectuent de nouvelles décompositions et de nouveaux chocs.

Les zigzags qu'on remarque dans les éclairs tiennent à ce que l'éclair se compose d'une suite d'éclairs, nés de recompositions et de décompositions qui s'opèrent successivement soit entre divers nuages, soit entre les différentes parties d'un même nuage; une étincelle provoque toutes les autres; chaque trait rectiligne est une étincelle; leur liaison et leurs changements de direction en zigzag

sont produits par la succession des étincelles.

Les orages, qui sont beaucoup plus fréquents et plus violents dans les contrées centrales ou équatoriales du globe, comme l'Afrique, le centre de l'Amérique, les Indes, que dans les pays tempérés, comme les nôtres, ou les pays froids, sont surtout dangereux parce qu'ils favorisent, par le mouvement des nuages, l'accumulation de l'électricité libre de l'atmosphère. En effet, cette électricité ne se combine jamais avec celle de la terre sur la fin des jours d'été, où l'on aperçoit ce que l'on appelle des éclairs de chaleur. La cause de ces éclairs, que n'accompagne aucun bruit, est la même que celle des orages; mais ils ont lieu dans des régions élevées, sans accumulation et sans mouvement, et doivent également se produire dans le jour, mais la lumière du soleil nous empêche alors de les apercevoir.

On a même vu, très-rarement il est vrai, par suite de l'abondance de l'électricité atmosphérique, les arbres, les buissons, les haies, les chevaux être entourés d'une sorte d'auréole lumineuse vive et vacillante, analogue à la flamme électrique, et donnant lieu à un bruit ou à un sifflement bien caractérisé.

Dans les régions de la terre qui avoisinent les pôles, les phénomènes de lumière électrique ont une intensité considérable, et les aurores boréales, comme on les appelle, sont en quelque sorte en permanence.

MAGNÉTISME.

Aimants. — Plusieurs métaux, le fer, le nickel, le cobalt, le chrome, ont la propriété d'attirer le fer d'abord et même d'autres corps et de les repousser. L'aimant naturel, ou pierre d'aimant, est composé de fer et d'oxygène; c'est un oxyde de fer; mais on peut à volonté avoir des aimants artificiels en frottant sur un aimant, ou en électrisant, des barres ou des aiguilles d'acier et de fer doux; ces aimants artificiels sont même généralement plus puissants que les aimants naturels.

Les aimants attirent les corps à toutes les distances; mais plus celle-ci croît, plus leur action diminue. Ils agissent à travers d'autres corps, pourvu que ceux-ci ne soient pas très-épais. Mais leur puissance décroît avec l'augmentation de la température; ce n'est que dans des limites moyennes de chaleur que cette action se manifeste; à la chaleur rouge, ils perdent toute influence magnétique.

Tout aimant plongé dans de la limaille de fer attire celle-ci et s'en trouve couvert à ses extrémités. Les fines particules paraissent toutes se diriger vers deux centres d'attraction situés à chaque extrémité, à quelque distance du bord de l'aimant. Le milieu de l'aimant semble n'attirer aucune matière; il y a entre les deux pôles ou centres d'attraction, que nous avons signalés, un espace neutre, sans attraction, où la limaille ne s'attache pas.

Il suffit de se reporter à ce qui se passe dans les ondulations sphériques de l'eau pour se rendre compte de ce phénomène. Les mouvements et vibrations en sens contraires s'accroissent aux deux extrémités et déterminent dans la limaille des mouvements analogues, qui portent également la limaille vers chaque pôle où il y a un mouvement contraire. Au centre, il y a équilibre de mouvements qui neutralise les vibrations, les compense, les anéantit, ou mieux, les faisant osciller alternativement dans les deux sens, empêche l'accumulation d'une seule sorte de mouvement.

Quelquefois cependant, il y a des réflexions de mouvement, et l'on obtient des pôles contraires, appelés points conséquents, qui se manifestent entre les pôles extrêmes, austral ou boréal, comme on les appelle, à cause de leur situation par rapport aux pôles de la terre.

Comme pour l'électricité, les pôles de même nom se repoussent et de nom contraire s'attirent. Du reste, lorsque l'on brise à sa ligne neutre un corps aimanté ou un aimant de manière à séparer chaque pôle l'un de l'autre, on voit dans chaque partie brisée les deux mouvements inverses qu'on avait remarqués dans le tout se reproduire dans chaque partie, et celles-ci avoir chacune, quel que soit le nombre des fragments obtenus, deux pôles et une ligne neutre. Les aimants agissent d'ailleurs plus ou moins sur tous les corps et même sur les gaz; quelques-uns sont attirés, comme le cuivre, d'autres sont

repoussés, comme le cuivre encore, le plomb, le soufre, la cire, l'eau, le bismuth; l'oxygène paraît avoir une grande puissance magnétique d'attraction, et un mètre cube condensé agit comme 5 gr. 5 de fer sur une aiguille aimantée; car les actions sont toujours réciproques : un aimant attire également un corps ou en est attiré.

C'est en frictionnant ou en faisant glisser à plusieurs reprises un aimant sur toute l'étendue du barreau à aimanter qu'on aimante celui-ci, et qu'on fait prendre à la dernière extrémité qu'on touche un pôle contraire à celui de l'aimant qui a servi à la friction. On obtient souvent ainsi des points conséquents ou pôles secondaires parce que les vibrations magnétiques ont lieu dans tous les sens, et se combattent les unes les autres. Il est préférable d'opérer les frictions à l'aide de deux aimants verticaux ou mieux inclinés à 15°, à 20°, dont on réunit les deux pôles contraires au milieu du barreau à aimanter, et qu'on fait glisser toujours dans la même direction, chacun vers une extrémité.

C'est bien une vibration, un mouvement que déterminent ces opérations, car les aimants ne perdent ainsi rien de leur puissance magnétique; ils ont vibré et ont fait vibrer l'éther des corps influencés, sans perdre eux-mêmes leur faculté de vibration interne, qu'ils doivent souvent à l'action de la terre ou à leur état électrique. Les aimants naturels semblent en effet devoir leurs propriétés à l'action de la terre; les vieux outils ou objets de fer et d'acier, les pelles, pincettes, clous,

la fonte, possèdent généralement des traces d'aimantation, parce qu'ils s'aimantent facilement.

Plus les composés ferrugineux contiennent de fer, plus ils sont magnétiques, c'est-à-dire qu'ils sont attirés par les aimants, sans être eux-mêmes des aimants, c'est-à-dire sans avoir de pôles contraires. Cependant sous l'influence et au contact des aimants véritables, toutes ces substances magnétiques deviennent des aimants transitoires ayant deux pôles, l'un attractif, l'autre répulsif; en d'autres termes, au contact, le courant électrique qui produit l'aimantation du fer se continue dans les substances magnétiques, y produit des effets analogues et cesse avec le contact.

Des corps comme l'acier ne s'aimantent que difficilement au contact, c'est-à-dire que le courant et la vibration magnétique s'y communiquent difficilement, tandis qu'elle se communique très-aisément dans le fer doux.

Il faut frictionner l'acier avec l'aimant, ajouter un mouvement au mouvement magnétique pour le faire vibrer; mais une fois ce mouvement établi, il s'y conserve très-longtemps, et d'autant plus qu'il a été plus trempé, c'est-à-dire d'autant plus que l'éther y renfermé a plus de champ pour se développer. Le fer doux, qui vibre si facilement, perd aussi facilement sa puissance magnétique, à moins que l'oxydation, la torsion ou la pression, qui rapprochent ses molécules, n'accroissent sa puissance de conservation du mouvement magnétique.

Magnétisme et électricité terrestre, courants. — Toute aiguille aimantée, suspendue par le milieu à un fil ou à un pivot, prend une direction du nord au sud, une de ses pointes se dirigeant à peu près vers le pôle nord de la terre, l'autre vers le pôle sud. La terre agit ainsi comme un grand aimant, dont le pôle boréal attire le pôle austral de l'aimant, et établit un courant inverse avec lui, tandis que le pôle austral de la terre attire ou mieux dirige et influe sur le pôle de nom contraire ou mouvement boréal de l'aimant. Le pôle de l'aimant qui vise au nord est donc le pôle austral, celui qui vise au sud le pôle boréal.

La terre paraît avoir également sa ligne neutre qui serait à peu près dans la direction de l'équateur.

Elle agit sur l'aiguille aimantée comme si deux forces égales parallèles, mais marchant en sens contraire, s'appuyaient sur chaque pôle de l'aiguille, et se faisaient équilibre.

Courants. — La terre, selon Ampère, aurait un courant électrique qui serait dirigé de l'est à l'ouest perpendiculairement au méridien magnétique; ce courant entourerait la terre et serait accumulé surtout à l'équateur. Ce courant du globe résulte d'une multitude de courants élémentaires qui traversent la terre dans diverses directions et qui proviennent des actions chimiques et des actions calorifiques qui se produisent entre les différents corps qui composent notre globe.

Les aimants eux-mêmes ne doivent leurs différents phénomènes qu'à l'action de cou-

rants électriques qui vont de l'est à l'ouest dans la partie inférieure de l'aimant qui subit l'action du globe, et de l'ouest à l'est dans la partie supérieure. On peut, en quelque sorte, se représenter les aimants comme entourés par les courants ainsi que par un fil, dont la direction serait différente en haut et en bas.

Boussole. — La boussole marine ou le compas de mer est fondée sur cette action que la terre produit sur l'aiguille aimantée. Cette aiguille est une petite barre ou double pointe d'aimant naturel ou d'acier aimanté, dont les pointes forment les pôles. Si on la suspend horizontalement, soit à l'aide d'un fil, soit par un pivot solide, on remarque d'abord qu'elle oscille quelque temps, puis s'arrête, une de ses extrémités tournée vers le nord, l'autre vers le sud, et qu'elle revient toujours à cette position après en avoir été écartée.

On la pose ordinairement dans une boîte sur le fond de laquelle sont marqués les points cardinaux et la rose des vents. La direction septentrionale qu'elle prend toujours indique aux navigateurs la position qu'ils occupent et le côté vers lequel ils doivent se diriger. Mais il importe d'éloigner de la boussole toutes les masses de fer qui pourraient agir sur elle, et la repousser ou l'attirer, car alors elle n'obéirait plus à l'action directrice de la terre ; elle dévierait de sa position normale et induirait en erreur les voyageurs qui la consulteraient.

C'est quelquefois ce qui arrive lorsque des perturbations se produisent dans la na-

ture. Ainsi, les tremblements de terre, les aurores boréales, font dévier quelquefois de 20 minutes les aiguilles aimantées, et leur action se fait souvent sentir très-loin. Les orages agissent aussi sur elles, changent leurs pôles, font aller le pôle nord au sud, et *vice versa*, et souvent même enlèvent à la boussole sa puissance magnétique. C'est une des causes les plus fréquentes d'erreur, et des marins se sont précipités, eux et leurs navires, sur des écueils par suite de ces fausses indications, quand, au contraire, ils pensaient s'en éloigner.

Mais l'aiguille aimantée subit, par l'action du globe et probablement aussi de la chaleur solaire, des variations, les unes journalières et régulières, les autres séculaires et lentes.

Déclinaisons. — Ainsi, cette aiguille, qui n'est pas tout à fait dirigée vers le pôle nord, mais vers un point qui en est très-rapproché, oscille encore autour de ce pôle et fait avec lui un angle qui est aujourd'hui de 19°, mais qui n'a pas toujours été le même. Aujourd'hui, l'aiguille, après avoir décliné du côté de l'occident, jusqu'à 22°, revient comme il y a deux siècles, du côté de l'orient. Mais comme elle met des années et des siècles à osciller ainsi autour du méridien terrestre d'un lieu, les variations qui se produisent ainsi peuvent être facilement connues. Cette déclinaison n'est, du reste, pas la même pour tous les lieux de la terre.

Inclinaison. — L'aiguille aimantée, suspendue horizontalement, n'est jamais complètement horizontale; elle incline toujours,

par rapport à l'horizon, et, à Paris, elle fait avec celui-ci un angle de 70° . Dans d'autres pays, cet angle varie, et près des pôles magnétiques du globe, l'aiguille prend une position à peu près verticale. Près de l'équateur, au contraire, l'inclinaison est nulle et l'aiguille reste horizontale. On en a conclu que les pôles du globe, qui, de même que les aimants, attirent les pôles contraires de l'aiguille aimantée, ont une action identique à celle des pôles des aimants, et que vers l'équateur est leur ligne neutre. Dans l'hémisphère boréal ou nord, en effet, c'est le pôle austral de l'aiguille qui s'incline vers la terre, tandis que, dans l'hémisphère austral ou sud, c'est le pôle boréal de l'aiguille qui s'incline. Tous les points du globe où l'inclinaison est nulle, et qui forment la ligne neutre du grand aimant terrestre, sont considérés comme étant l'équateur magnétique du globe; cet équateur varie de position, et, de plus, il ne concorde pas tout à fait avec l'équateur terrestre ordinaire.

Les variations journalières et annuelles de l'aiguille aimantée sont peu considérables, mais elles sont cependant très-sensibles. Ainsi, du printemps à l'été, l'aiguille va vers l'est, tandis que de l'été au printemps elle va vers l'ouest, déviant ainsi de 20 minutes avec une régularité qui suit le cours des saisons. Tous les jours aussi elle va de l'est à l'ouest, du lever du soleil à une heure; elle va ensuite vers l'est; puis, à dix heures, elle est revenue à sa première position.

Ces variations, qui sont dues à l'action de

la chaleur solaire et terrestre, n'ont toujours qu'une intensité limitée.

LUMIÈRE.

Nature de la lumière. — Nous appelons lumière la cause qui produit en nous la sensation appelée *vision*, et c'est pour nous conformer aux usages reçus que nous en faisons un chapitre particulier. En effet, la lumière n'est ni une matière particulière, ni un fluide impondérable, c'est-à-dire sans poids, comme on l'a cru pendant longtemps. C'est simplement le résultat des mouvements vibratoires excités dans cette matière très-élastique et très-subtile que nous avons appelée *éther*. Cet éther qui remplit les espaces célestes aussi bien que les intervalles qui existent entre les molécules des corps terrestres, reçoit ses vibrations des corps lumineux, de même que l'air reçoit et transmet les vibrations sonores. Ces vibrations en se propageant jusqu'à notre œil, impressionnent le nerf optique; mais si notre œil était conformé autrement, nous pourrions voir des mouvements lumineux que nous n'apercevons pas, et qui existent cependant dans ce que nous appelons obscurité.

Ces mouvements oscillatoires que nous nommons la lumière sont plus rapides de quelques millions que les sons, car la lumière se propage avec une vitesse d'environ 80,000 lieues ou 320,000,000 mètres par seconde, et le son de 333 mètres seulement par seconde.

Les corps que nous appelons lumineux, et

qui, comme le soleil, produisent sur notre terre de la lumière, sont en général des corps qui sont mis en mouvement par une action plus ou moins intense, comme la chaleur, le frottement, la percussion, les combinaisons chimiques, l'électricité. Le mouvement lumineux existe avant que ces causes n'agissent, mais nous ne le percevons que lorsqu'il atteint un certain degré d'intensité. Ainsi, pour nous, les corps chauffés, ne deviennent lumineux que lorsqu'ils atteignent 5 à 600 degrés, et plus leur température est élevée, plus vive est leur lumière; par exemple, un corps qui était rouge à 500 degrés, orangé à 1,200, devient d'un blanc éblouissant à 1,600.

La chaleur se transforme donc en lumière lorsqu'elle a une vitesse et une énergie suffisantes; aussi ces deux agents ont-ils dans bien des cas les mêmes lois; ils se reflètent et se réfractent de même, comme tous les autres mouvements et tous les corps élastiques; et cependant on peut les séparer l'un de l'autre, arrêter l'un et laisser passer l'autre à l'aide de certaines substances, comme nous l'avons vu plus haut.

Parmi les sources de lumière les plus connues, il faut citer la combustion, qui est une action chimique, le résultat de la combinaison de l'oxygène soit avec du carbone, soit avec des matières organiques. Notre éclairage n'a jusqu'à présent pas d'autre source que les combustions de ce genre, puisque l'électricité n'est pas encore entrée dans les usages journaliers.

Ajoutons que certains corps sont lumineux dans l'obscurité à des températures assez basses, et sans qu'ils développent beaucoup de chaleur. Ainsi le phosphore, les vers lumineux, le bois et les poissons décomposés, sont naturellement phosphorescents, par suite d'actions chimiques ou d'actions électriques qui se produisent dans ces substances.

Décomposition de la lumière. — La lumière qui nous vient du soleil et des astres est blanche; celle que produit l'électricité présente aussi cette couleur. Mais lorsqu'on fait tomber un faisceau de cette lumière dans une chambre complètement obscure, et qu'on place sur son passage un prisme ou triangle de cristal, on obtient une image au spectre coloré du soleil au lieu d'une image blanche. La lumière blanche et toutes les lumières et les couleurs blanches peuvent ainsi être décomposées en sept couleurs différentes : le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet.

Couleurs du prisme. — Ces différentes couleurs, qui se présentent toujours dans le même ordre, s'observent, du reste, dans une foule de circonstances. Dans l'arc-en-ciel, dans les gouttelettes des jets d'eau, dans les verres éclairés par la lumière, dans les microscopes et les verres grossissants, enfin dans les fentes étroites faites avec des ciseaux dans du papier blanc et examinées à l'aide d'une loupe.

Ces rayons n'ont pas tous les mêmes propriétés ni le même caractère. Ainsi, les

rayons rouges sont plus chauds que les rayons jaunes et beaucoup plus que les rayons qui viennent après le jaune jusqu'au violet ; ils se dévient aussi plus les uns que les autres lorsqu'ils se réfractent, le violet est plus dévié que l'indigo, qui l'est plus que le jaune ; aussi, est-ce toujours le violet qui est en bas et le rouge qui est en haut de l'image du spectre décomposé, puisque le rouge est le moins dévié. Cette différence tient à ce que le violet fait un nombre beaucoup plus considérable de vibrations que le rouge et que ces ondulations sont bien plus petites ; elles subissent alors plus facilement l'influence des milieux ou des corps plus denses (comme le prisme de verre) où elles pénètrent.

Nombre de vibrations des couleurs. — La vitesse de la lumière est d'environ 319 millions de mètres dans une seconde ; mais cette vitesse n'est pas seulement celle de la lumière blanche. En effet, nous allons voir que la longueur des ondulations compense toujours la multiplicité des vibrations et même uniformément tous les rayons à avoir cette même vitesse. Quel est maintenant le nombre de vibrations qu'exécutent en une seconde chacune des couleurs qui composent la lumière blanche, et quelle est la longueur des ondulations qu'elles produisent ? Le tableau suivant en donne une idée. En une seconde, le violet fait 754 millions de millions de vibrations, et la longueur de chacune de ses ondulations, en prenant le millimètre pour unité, est de $0^{\text{m}},000,423$ millièmes de millimètre.

	Vibrations.		Long. d'ondulation.
L'indigo.	710 millions	de millions	0 ^{mm} ,000,449
Le bleu.	671	—	0 ^{mm} ,000,475
Le vert.	612	—	0 ^{mm} ,000,521
Le jaune	579	—	0 ^{mm} ,000,551
L'orangé	547	—	0 ^{mm} ,000,583
Lerouge	514	—	0 ^{mm} ,000,620

En multipliant les vibrations par les longueurs d'ondulations, on a toujours une vitesse de 319,000 kil. De nouveaux calculs réduiraient ce nombre à 305 ou 308,000 kilomètres.

Ces nombres dépassent de beaucoup tous les exemples de divisibilité que nous avons cités, et montrent combien est *ténu* l'éther qui produit ces vibrations.

Remarquons qu'à mesure que la longueur de l'ondulation augmente, le nombre des vibrations diminue, absolument comme lorsque nous faisons vibrer une corde : plus elle rend des sons graves, plus lentes sont les vibrations et plus larges les oscillations qu'elle accomplit.

Inaltérabilité des couleurs. — Lorsque la lumière blanche, qui n'est qu'un composé, et probablement une résultante et une moyenne des différents mouvements lumineux, est décomposée en ses divers mouvements constituants, on observe que chacun de ces mouvements est lui-même inaltérable et indécomposable. Quelles que soient les réfractions et les réflexions que l'on fasse subir aux mouvements violets, bleus, verts, jaunes, on n'obtient aucune modification de couleur, aucune

décomposition nouvelle en teintes plus simples; l'intensité de la nuance peut varier, mais la teinte persiste. Projetés sur des corps de couleurs différentes, ces rayons les teignent de leurs couleurs, et ils paraissent bleus ou violets dans la lumière bleue ou violette.

Lemouvement calorifique, lorsqu'il a lieu à travers les corps, produit également des colorations qu'il est bon de rapporter aux colorations du spectre, bien qu'on n'ait pas encore calculé les différences de vitesse calorifique que produisent les élévations de température. Le rouge naissant correspond à 525°, le rouge sombre à 700°, le cerise à 900, l'orangé à 1,200, et le blanc à 1,300, 1,500, 1,600.

Recomposition du blanc. — Action chimique des couleurs. — Les sept couleurs du spectre, qu'on a même voulu réduire à trois, bleu, jaune et rouge, ont chacune divers rayons d'une inégale puissance de réfraction. Ainsi dans le violet, dernière couleur du spectre, il y a un violet extrême qui est un peu plus réfrangible que le violet du milieu et que le violet qui touche l'indigo; de même dans l'indigo, tous les rayons ont des réfrangibilités inégales; le rouge voisin de l'orangé est également plus réfrangible que le rouge moyen et que le rouge extrême qui termine le spectre. (V. plus loin *Réfraction.*)

Tous ces rayons réunis recomposent la lumière blanche; l'absence de lumière est ce que nous appelons le noir; mais au delà des rayons visibles du spectre, il en est d'autres qui ont une grande activité et beaucoup

d'influence sur les phénomènes chimiques, et qui deviennent visibles lorsqu'ils traversent une dissolution de la matière verte des végétaux et de sulfate de quinine.

Du reste, les rayons divers ont une action chimique très-différente. Ainsi ce sont les rayons violets, dont les vibrations sont si multipliées et les ondulations si petites, qui ont la plus grande action chimique, ce qui se comprend, puisque les phénomènes chimiques sont du nombre de ceux où les distances sont infiniment petites, et par suite les vibrations ont lieu dans des espaces infiniment petits. Les rayons rouges ont une moindre influence chimique, mais, en revanche, leur action calorifique est presque huit ou seize fois plus grande que celle des rayons violets; mais il est bon d'ajouter que le maximum d'intensité calorifique ne correspond pas toujours à la même couleur dans les prismes formés de différentes substances. Il est tantôt sur le rouge ou au delà, sur le jaune, sur l'orangé, selon que les prismes sont de matières qui transmettent plus ou moins facilement le mouvement calorifique.

Pour recomposer mécaniquement à la vue les couleurs, il suffit de les peindre toutes dans leur ordre naturel sur un rond de carton, et de faire tourner rapidement ce rond : toutes les couleurs se superposent pour nous, et nous n'apercevons que du blanc.

Ondulations obscures. — Au delà du rouge, il est des ondulations obscures qui sont beaucoup plus chaudes, et au delà du violet d'autres ondulations obscures qui ont bien

plus d'activité chimique que les rayons colorés que nous connaissons ; ces rayons sont obscurs pour nous, ils ne le sont probablement pas pour des êtres, des insectes par exemple, organisés différemment. Les rayons visibles sont tout simplement en rapport avec notre organisation ; mais par eux-mêmes, ils n'ont qu'une différence de vitesse avec les rayons invisibles.

On peut du reste rendre visibles ces rayons invisibles à l'aide d'une substance, le sulfate de quinine, qui les rend lumineux et visibles pour nous, parce qu'elle modifie probablement la longueur des vibrations de manière à les mettre à la portée de nos organes.

Le soleil contient aussi une multitude de rayons obscurs, chauds néanmoins, et que le verre arrête au passage.

Les vibrations qui donnent l'impression du rouge sont plus lentes, et les ondes de l'éther qu'elles produisent plus longues que celles qui forment le violet ; les autres sont intermédiaires. Ainsi, 46,666 ondes rouges placées à la suite les unes des autres font un centimètre, et dans les 308 000 kilomètres que parcourt la lumière en une seconde, il y aura donc 496 trillions 774,193 millions d'ondes qui frappent notre rétine et le nerf optique ; pour le violet, il faut 699 millions de millions de chocs d'onde par seconde. Au delà du violet les ondulations sont donc beaucoup plus aiguës, plus nombreuses, plus courtes, et l'action chimique qu'elles produisent est donc due à des ondulations infiniment plus vives et plus pressées ; les actions de la chaleur

sont au contraire plus lentes et les ondes plus longues que le rouge lui-même, et ce n'est que lorsqu'elles augmentent d'intensité qu'elles deviennent lumineuses.

Il peut donc y avoir deux mouvements obscurs d'effets très-différents, l'un calorifique moins intense, l'autre chimique plus intense, et par conséquent pouvant agir avec plus de force sur des parties de matière bien plus petites.

Ces considérations montrent combien tous les mouvements et toutes les forces de la nature sont liés ensemble, et en particulier combien il y a de rapport entre la lumière, la chaleur, la puissance chimique, qui apparaissent comme de simples différences de vitesse et d'intensité dans les mouvements de l'éther.

Photométrie. — Mesure de l'intensité de la lumière. — Il est facile de se rendre compte de la différence d'intensité de la lumière, selon la distance où elle est placée, en recevant, par un carton percé de deux trous, les rayons de sources de lumière séparées par un carton opaque et placées à des distances différentes, sur une feuille de papier huilé placée derrière le carton percé. On observe, lorsque les deux lumières sont à la même distance, une parfaite égalité de lumière. Si on place l'une des lumières beaucoup plus loin, son intensité diminue, le papier est moins éclairé; mais si, laissant l'une des lumières à un mètre, par exemple, et plaçant à trois mètres de distance neuf lumières semblables, on voit que ces deux

sources donnent une intensité sensiblement égale de lumière.

Une lumière à un mètre égale donc neuf lumières à trois mètres, c'est-à-dire que l'intensité de la lumière est en raison inverse du carré de la distance ; plus la distance est grande et plus il faut augmenter l'intensité de la source pour produire le même effet qu'on obtient à une distance trois fois moindre et avec une source neuf fois moins forte.

Contraste des couleurs. — Lorsque l'on pose à côté l'une de l'autre les couleurs rouge et orangé, le rouge tire sur le violet et l'orangé sur le jaune ; chaque couleur réagit sur sa voisine et s'ajoute la couleur complémentaire de l'autre. Ainsi, du rouge et du bleu juxtaposés donnent un rouge passant au jaune, le bleu tire sur le vert. On ne doit pas oublier ces influences dans la coloration des étoffes, la fabrication de tapis et de tous les objets colorés ; du jaune et du bleu côte à côte donneront l'un de l'orangé, l'autre de l'indigo.

Miroirs. — *Réflexion.* — Chacun des points d'un corps placé devant un miroir a son image reproduite derrière le miroir ou pour mieux dire dans le miroir avec une fidélité qui nous donne l'idée des distances véritables ; l'ensemble des images de chacun de ces points forme, pour notre œil, une image totale du corps parfaitement symétrique.

Les arbres, les maisons, les nuages se réfléchissent ainsi dans les eaux tranquilles, mais dans un sens inverse de leur direction naturelle.

Si l'on place une bougie allumée entre deux glaces parallèles, on voit cette lumière se répéter à l'infini, en diminuant toutefois d'éclat et en prenant peu à peu une direction courbe qui ne permet plus d'apercevoir les dernières réflexions, ce qui tient à la petitesse de plus en plus grande de l'angle de réflexion.

On peut ainsi, à l'aide de glaces parallèles se renvoyant mutuellement les images, multiplier en apparence l'étendue des appartements.

Ces phénomènes proviennent de la réflexion de la lumière envoyée par les corps à la surface des miroirs ; les ondulations et leurs rayons se réfléchissent ou rebondissent en effet pour parvenir à notre œil. Celui-ci les voit dans la direction réfléchie où ils lui arrivent, et il admet qu'ils sont placés sur le prolongement des rayons lumineux qui lui parviennent, absolument comme si au lieu d'être devant le miroir, ces objets étaient derrière. Cette réflexion du mouvement lumineux suit les lois que nous avons déjà indiquées ; l'angle d'incidence ou d'arrivée est toujours égal à l'angle de réflexion, de manière à produire un V plus ou moins ouvert.

Miroirs concaves et convexes.—Les miroirs dont nous avons parlé jusqu'ici sont des surfaces planes, et on les appelle des miroirs plans ; mais on en construit aussi de concaves et de convexes, c'est-à-dire semblables à des demi-sphères tournées en dedans ou en dehors.

Dans les miroirs concaves tous les rayons

parallèles qui partent d'une source lumineuse comme le soleil, se réfléchissent sur la surface métallique, mais au lieu que leurs rayons réfléchis s'élancent au dehors du miroir, la forme sphérique de celui-ci les fait tous converger à un point situé à quelque distance du miroir, mais sur la même ligne que le centre de la concavité. Ils y forment un foyer, situé à peu près au quart du diamètre, et qui est le foyer principal du miroir, et où se peint une image réelle de l'objet.

Si on éloigne l'objet du miroir, l'intensité de la lumière diminue, la force de réflexion aussi et le foyer se rapproche du miroir.

Si les rayons, au lieu de venir d'une source éloignée, venaient d'une source assez proche pour avoir une direction divergente, c'est-à-dire semblable aux lames d'un éventail, le foyer serait un peu plus éloigné du miroir, mais toujours formé de la même manière, et on pourrait recevoir l'image de l'objet sur un écran qui représenterait l'image de l'objet, mais renversée.

Les miroirs concaves, lorsqu'ils reçoivent les rayons du soleil, les concentrent à leur foyer, et cette concentration produit une telle lumière qu'il est impossible d'en soutenir l'éclat, et une telle chaleur que le bois brûle et les métaux fondent lorsqu'on dirige le miroir sur eux. C'est probablement par des miroirs ardents de cette espèce qu'Archimède parvint à incendier du haut des murailles de Syracuse la flotte romaine qui venait pour l'attaquer. Buffon a fait aussi construire des miroirs semblables, avec lesquels il

produisait des effets analogues à des distances considérables.

Miroirs convexes. — Dans les miroirs convexes, les rayons sont toujours dispersés, mais les images n'y sont pas renversées, et leurs dimensions sont toujours plus petites que celles des objets mêmes. On s'en sert quelquefois pour dessiner et réduire les paysages.

Réflecteurs. — On emploie aussi les miroirs concaves, pour concentrer la lumière, la réfléchir de manière à concentrer son éclat. On s'en sert dans les lampes, dans les phares, afin d'augmenter l'intensité lumineuse et de la rendre visible à de grandes distances. C'est ainsi qu'on construit tous les réflecteurs. On les fait généralement avec des métaux polis qui renvoient le mieux la lumière.

On utilise cette propriété qu'ont les surfaces polies et claires de réfléchir la lumière pour éclairer les parties que laissent dans l'ombre un corps éclairant. Ainsi une lampe qui a un abat-jour noir, éclaire très-bien par réflexion tout ce qui est autour du pied de la lampe ; mais au-dessus de la cheminée en verre, il y a un espace très-sombre ; il suffit alors de concentrer la lumière diffuse supérieure à l'aide d'un nouveau réflecteur, tel qu'une feuille de papier blanc, un corps poli quelconque pour avoir un point très-lumineux.

C'est ainsi qu'on peut éclairer, dans les maisons ou les monuments publics, les parties ou les salles mal éclairées ou privées de grandes fenêtres ou d'un beau jour. On dis-

pose à leur partie supérieure un réflecteur qui concentre le peu de lumière qui arrive dans la pièce, et qui la renvoie tout entière à l'intérieur, au lieu de la laisser se diffuser sans profit et sans intensité; on peut ainsi dans les caves, les sous-sols, obtenir une lumière presque égale à celle des autres étages.

Images renversées. — Bien que la lumière se propage en ondes, on appelle rayons lumineux toute ligne de lumière qui part d'un corps lumineux. Eh bien, lorsqu'on fait passer un seul rayon lumineux à travers une très-petite ouverture, et qu'on reçoit ce rayon dans une chambre tout à fait obscure ou chambre noire, on voit que quelle que soit la forme de l'ouverture, carrée, rectangle ou pointue, ce rayon lumineux donne une image circulaire, qui est celle du soleil, et à laquelle on a donné le nom de *spectre solaire*, ou ombre ou figure du soleil.

Mais si, sur le trajet de ce rayon lumineux, on place un objet quelconque, on voit, si l'on reçoit dans la chambre obscure le rayon sur un écran, se peindre sur celui-ci une image renversée de l'objet. C'est que les rayons qui partent des sommets de l'objet, forcés de traverser une fente étroite, font un angle avec cette fente au lieu de la traverser parallèlement, et que, en continuant leur chemin, ils vont se peindre sur l'écran, d'après la direction qu'ils ont gardée; par exemple, la tête en bas et les pieds en haut, si les rayons lumineux partaient du corps d'un homme. On comprendra facilement ce fait en se repré-

sentant les rayons comme des fils de fer qui partent en droite ligne de la tête d'un homme pour aboutir à un écran, et qui sont forcés de traverser une étroite ouverture située plus bas que cette tête. Il est évident que le fil arrivera à l'écran aussi au-dessous du trou et non pas au-dessus, ni à la hauteur de la tête.

Il se passe des phénomènes semblables dans les lentilles grossissantes et autres.

Réfraction.— Lorsque l'on plonge obliquement dans l'eau la moitié d'un bâton, on remarque que la partie plongée semble brisée à partir de la surface de l'eau et paraît plus courte qu'elle ne l'est réellement. Le bâton n'a cependant pas changé de forme, seulement la lumière qui part de la partie du bâton immergé ne vient pas en ligne directe du bâton à l'œil ; elle suit une ligne brisée, beaucoup plus inclinée dans l'eau que dans l'air, de sorte que si la direction du bâton est oblique, la partie plongée paraît se rapprocher de la verticale.

On voit absolument le même fait lorsqu'on regarde d'en haut une règle de bois qui peut se plier en deux ; vue dans toute sa longueur et dans une position horizontale ou oblique, on aperçoit toute sa longueur ; mais si on plie sa partie inférieure sans cesser de regarder en dessous, on voit que sa longueur diminue et que la partie pliée semble beaucoup plus courte.

Mais dans l'eau le résultat apparaît, parce que la lumière est déviée de sa route vers l'œil, lorsqu'elle passe de l'eau qui est plus

dense et qui resserre le mouvement lumineux, dans l'air qui est moins dense et qui le laisse circuler plus librement.

On peut vérifier l'influence de la densité de l'air et de l'eau sur le changement de direction de la lumière en plaçant une pièce de monnaie au fond d'un vase vide ; on la pose à plat à une distance telle que lorsqu'on place l'œil au bord de droite du vase, on n'aperçoive qu'une très-petite portion de l'extrémité de la pièce, ou même qu'on ne la voie pas du tout ; puis on remplit peu à peu le vase d'eau. On remarque alors, si l'œil reste à l'angle droit du vase, que la pièce semble s'avancer peu à peu vers le côté opposé du vase ; on en voit d'abord un quart, puis un tiers, puis la moitié, puis les trois quarts, puis enfin on la voit tout entière ; de plus, le fond du vase paraît s'être élevé avec la pièce.

C'est que les rayons des ondulations lumineuses qui partent de la pièce immergée, et qui suivent une direction rectiligne dans l'eau, se dévient lorsqu'ils passent dans l'eau et de l'eau dans l'air, car sans cela ils ne pourraient jamais parvenir à l'œil.

Chaque fois que la lumière passe ainsi d'un corps plus dense dans un corps moins dense ou moins serré, et *vice versa*, d'un corps moins dense dans un plus dense, elle éprouve une déviation ou une réfraction.

Ainsi, dans l'air, où il y a des couches qui par suite de l'action de la chaleur ont plus de légèreté, de transparence et moins de densité que d'autres, la lumière éprouve des dé-

vations de ce genre et ne nous arrive point en ligne droite; les couches supérieures étant les moins denses, la lumière qui vient obliquement du soleil (tant que le soleil n'est pas vertical au-dessus de nos têtes), éprouve une déviation à mesure qu'elle entre dans une couche plus dense qui la réfracte davantage et la rapproche de plus en plus de la perpendiculaire.

Cette réfraction nous fait attribuer aux astres une position différente de celle qu'ils ont en réalité; nous les voyons, par exemple, sur ou au-dessus de l'horizon lorsqu'ils sont encore au-dessous, et nous les voyons encore lorsque, près de se coucher, ils sont au-dessous de l'horizon. Dans ces cas, ils nous paraissent plus grands ou aplatis dans le sens vertical, parce que la réfraction élève le bord inférieur.

Cette déviation de la lumière ne se fait du reste pas par mouvements brusques; les changements de densité de l'air ayant lieu par une gradation presque insensible, la lumière décrit une courbe concave vers la terre.

Lorsque la lumière qui part d'un objet, au lieu de passer d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense et plus réfringent, ce qui fait paraître l'objet plongé dans ce dernier plus rapproché de la surface de séparation, passe au contraire d'un milieu plus dense et plus réfringent dans un autre qui dévie moins la lumière, l'objet placé dans ce dernier paraîtra éloigné de sa surface.

De plus, plus le rayon lumineux tombe

obliquement à la surface d'un corps, plus la déviation qu'il éprouve est forte.

Mirage. — Dans les plaines d'Égypte, le sol, qui est surtout formé de sable, s'échauffe considérablement par la chaleur des rayons solaires qui à l'équateur ont une intensité très-considérable. Le matin et le soir, les plaines offrent à peine quelques arbres et de rares villages; mais lorsque la surface de la terre s'est échauffée par l'action des rayons solaires, le terrain paraît terminé à près d'un kilomètre de distance par une inondation générale, les villages qui se trouvent au delà, paraissent comme des îles au milieu d'un grand lac. Sous chaque village, on voit son image renversée, comme elle le paraîtrait s'il y avait réellement autour de ces objets une nappe d'eau de vaste étendue. A mesure qu'on s'approche des limites, cette inondation apparente s'éloigne, puis l'illusion disparaît et se reproduit pour un village plus éloigné. Bien des fois pendant la campagne d'Égypte, l'armée française croyait apercevoir de semblables inondations, et nos soldats, fatigués de soif et de chaleur, étaient cruellement désappointés de voir fuir devant eux l'image de l'eau dont ils avaient besoin. Le savant Monge, qui accompagnait l'expédition, fut le premier qui expliqua ce phénomène.

En effet, le sol échauffé transmet sa chaleur à la couche d'air qui repose sur sa surface; cette couche d'air se dilate, devient plus légère que celles qui sont au-dessus d'elle; et lorsque les rayons dirigés sur le sol par les objets, arbres ou maisons, entrent

dans la couche dilatée, ils s'y réfractent ; les autres couches d'air sont aussi plus dilatées, mais leur densité diminue à mesure qu'on s'approche du sol, et les rayons en y pénétrant passent sans cesse d'une couche plus dense à une couche moins dense, et deviennent de plus en plus obliques en se réfractant. Lorsqu'ils touchent enfin la surface qui les réfléchit, ils arrivent à l'œil du voyageur qui voit bien l'image renversée des objets situés à une grande distance, mais qui les voit sur le prolongement des rayons réfractés, et par conséquent beaucoup plus près qu'ils ne le sont. En effet, le rayon qui part du sommet d'un arbre pour se réfléchir vers la terre, fait avec celle-ci un angle qui n'est jamais très-ouvert, et l'œil ne pourrait le voir de bien loin si le sol était un miroir. Mais si, par suite des réfractions que nous avons décrites, ce rayon, au lieu de se réfléchir en ligne droite, se réfléchit après avoir décrit une ligne courbe qui a à peu près la forme de la moitié des chaînes en fil de fer d'un pont suspendu, il arrivera qu'on le verra de bien loin, et par suite qu'on croira que le sommet de l'arbre est beaucoup plus près de nos yeux qu'il ne l'est en réalité.

Ce phénomène se produit aussi en mer par un temps calme, et les objets qui sont à l'horizon paraissent brisés ; les vaisseaux, les mâts, les voiles donnent des images également renversées.

Arc-en-ciel. — Lorsqu'après un orage, le soleil recommence à paraître, et qu'il éclaire vivement un nuage qui se résout en

pluie, nous voyons, si nous tournons le dos à l'astre, deux arcs-en-ciel concentriques qui présentent les sept couleurs du spectre solaire; seulement, dans l'arc extérieur, c'est le violet qui est placé en haut, et dans l'arc intérieur il est en bas et le rouge est en haut.

Cet arc n'est qu'une partie d'un cercle entier que produit le soleil en réfléchissant son image sur les nuages. Un observateur placé sur une éminence peut apercevoir ce cercle entier s'il est suffisamment élevé et peu éloigné du nuage. Si le soleil est à l'horizon, l'arc paraît sous la figure d'un demi-cercle; lorsque le soleil s'élève au-dessus de l'horizon, l'arc va en diminuant, et plus il est élevé, moins l'arc est visible.

Quant aux couleurs de ces arcs, elles sont produites par les gouttes d'eau qui réfléchissent et réfractent de la lumière solaire et la décomposent comme un prisme. Chacune des bandes de gouttes d'eau décomposent en sept couleurs la lumière solaire, mais toutes ne renvoient pas à l'observateur qui les regarde les mêmes rayons colorés. En effet, quand le soleil envoie sa lumière sur les gouttelettes de nuages, celles-ci, qui sont sphériques, décomposent la lumière comme un prisme, en couleurs différentes. Un rayon lumineux, en pénétrant de l'air dans la goutte d'eau qui est plus dense, est décomposé et dévié; mais en se déviant dans ce cercle il rencontre une surface courbe qui le réfléchit. C'est alors qu'il sort de la goutte et se réfracte encore, puisqu'il passe de l'eau plus

dense dans l'air moins dense ; c'est par suite de cette réfraction qu'il peut arriver à notre œil. Les autres rayons lumineux n'y parviennent pas, parce qu'ils sont déviés différemment et qu'ils forment un angle qui ne tombe pas dans l'œil de l'observateur. On a donc à la partie supérieure de l'arc inférieur une bande de rouge. Les autres couleurs, qui ont une réfrangibilité différente, ne sont efficaces pour l'œil que lorsqu'elles forment avec lui un angle convenable.

L'arc supérieur présente les couleurs renversées, c'est-à-dire le violet en haut et le rouge en bas, parce que les rayons y ont éprouvé une réflexion en plus ou deux réflexions en tout ; aussi la lumière y est-elle beaucoup plus pâle.

L'arc-en-ciel est donc un phénomène naturel, qui se produit par des causes et selon des lois connues, qu'on peut quelquefois même admirer dans les jets d'eau des jardins ; et il n'y faut voir ni un signe de beau temps, ni un miracle.

Halos. — Dans certaines saisons on aperçoit, autour du soleil et de la lune, un cercle brillant et coloré, rouge à l'intérieur, qui est quelquefois entouré d'un autre cercle plus grand. Ces cercles, qu'on appelle *halos*, paraissent dus à la réfraction de la lumière de ces astres par de petits prismes triangulaires de glace suspendus dans les hautes régions de l'atmosphère.

Enfin, dans les pays très-septentrionaux, on voit quelquefois apparaître simultanément plusieurs images du soleil, réunies entre

elles par des arcs brillants de couleur blanche. Ces *parhélies* ont été attribués à la réflexion de la lumière dans des particules de glace. Des phénomènes analogues ou des *parasélènes* ont lieu à l'égard de la lune.

Double réfraction. — Il y a des corps qui, par suite de leur cristallisation, possèdent la propriété de diviser les rayons lumineux, qui se réfractent en pénétrant dans leur intérieur, en deux rayons. Les liquides, comme l'eau, réfractent toujours un seul rayon et les gaz aussi; mais presque tous les corps cristallisés doivent à leur structure de produire deux rayons réfractés et par suite deux images des objets.

C'est un résultat de la différence d'élasticité que possèdent ces cristaux dans leurs différentes parties; ces corps peuvent, en effet, se séparer régulièrement en portions d'inégale élasticité, et par suite leur densité varie d'un côté à l'autre.

La lumière, au lieu de trouver un seul milieu plus dense, comme lorsqu'elle se réfracte de l'air dans l'eau, en trouve deux et se réfracte deux fois.

Cette propriété a permis d'étudier la structure intime des corps.

Du reste, on peut obtenir cette double réfraction en comprimant fortement des corps transparents comme le verre, ce qui prouve bien que la cause de ce fait est dans la différence d'élasticité des diverses parties des cristaux.

Polarisation. — Quand une ondulation lumineuse ou une file de molécules vibrantes

tombe sur une glace non étamée sous un angle de 35° , ce rayon est réfléchi, et, dans cette réflexion, il garde toute son intensité.

Mais si l'on fait tomber ce mouvement réfléchi sur une seconde glace de verre perpendiculaire à la première, c'est-à-dire formant avec elle un angle droit, nous verrons qu'au lieu de se réfléchir, ce rayon ne le fera pas contre toutes les lois ordinaires.

Si nous donnons alors à cette seconde glace d'autres positions obliques, la réflexion a lieu en partie. Seulement le mouvement se réfléchit avec des intensités très-inégales.

Lorsque la seconde glace est parallèle à la première, la réflexion est maximum ; elle décroît ensuite à mesure qu'on rapproche la seconde glace de la position perpendiculaire.

On appelle cette lumière, qui ne se peut réfléchir, lumière *polarisée*.

La raison de ce curieux phénomène est dans la différence des mouvements vibratoires de l'éther.

Dans la lumière naturelle, les vibrations des molécules d'éther s'exécutent perpendiculairement à la direction des rayons ; mais elles n'y sont pas parallèles entre elles : elles ont lieu dans toutes les directions, arrêtées et contrecarrées par mille obstacles.

La polarisation détruit ces directions différentes, fait couler ensemble toutes les ondes avec égalité et dans un même sens ; et les substances naturelles qui polarisent la lumière, c'est-à-dire qui l'ordonnent ainsi, donnent à ses vibrations une égalité de direction, absolument comme un aimant tourne

et attire du même côté des plumes de fer mêlées en tous sens.

Un rayon de lumière naturelle peut être regardé comme la somme de deux rayons de lumière polarisés à angle droit, et dont chacun possède une intensité égale à la moitié de l'intensité du rayon naturel qu'ils forment.

Ce mouvement lumineux, où toutes les vibrations sont parallèles entre elles, et que l'on appelle polarisé, existe dans la nature, et la lumière bleue du ciel, par exemple, est toujours en partie polarisée; il en est de même de la lune, c'est-à-dire que ces mouvements lumineux exécutent en partie des vibrations parallèles les unes aux autres.

Cette observation est fort importante comme on va le voir. La lumière qu'émettent les solides ou les liquides en incandescence, est toujours polarisée en partie, c'est-à-dire que la réfraction a rendu ces vibrations parallèles entre elles, au moins lorsque ces rayons sont très-rapprochés de la surface des corps.

D'un autre côté, les gaz enflammés n'émettent jamais ces vibrations parallèles. Or le soleil non plus n'offre aucune trace de vibrations semblables, ou de polarisation dans le mouvement lumineux qui émane de lui. On en conclut que sa lumière provient, non pas de corps solides ou liquides incandescents, mais d'une atmosphère gazeuse très-chaude répandue autour de lui.

La lumière des comètes, au contraire, est polarisée.

La lumière polarisée du ciel croît depuis a

verticale menée par l'astre lumineux jusqu'à 90°; elle diminue graduellement à partir de ce point, jusqu'à un autre où elle est nulle. Elle y est polarisée alors par réflexion.

Mais elle reparaît au delà en sens contraire, et est alors polarisée par réfraction. Il y a donc sur terre des causes qui polarisent ou rendent parallèles les mouvements des ondulations lumineuses.

La lumière réfléchie par l'eau, les vitres, le marbre poli, et tous les corps cirés ou vernis, est toujours polarisée en partie, c'est-à-dire qu'elle marche par vibrations parallèles; mais elle contient aussi des rayons qui vont en sens divers et font des angles droits.

Dans la lumière réfléchie par les métaux, au contraire, le parallélisme est l'exception, la polarisation étant très-faible, et les directions des mouvements sont à angle droit.

Interférences. — Les molécules vibrantes d'éther ont un mouvement de va-et-vient très-rapide; la longueur des ondulations qu'elles font est composée de l'aller et du retour de ces molécules. L'aller ou le retour seul n'est donc qu'une demi-longueur d'ondulation, et une ondulation se compose de deux mouvements en sens contraire.

Or, dans la lumière et dans les autres mouvements, voici ce qui arrive lorsque deux rayons ont même longueur, même intensité et même direction. Si l'un est en avance de l'autre ou en retard, juste d'un nombre pair, 2, 4, 6, de demi-longueur d'ondulation, les deux ondulations qui se rencontrent dans la même route s'ajoutent l'une à l'autre pour

imprimer un mouvement à l'éther dans le même sens, et l'intensité lumineuse augmente. Mais si l'une est en retard de l'autre d'un nombre impair, 1, 3, 5, 7, de demi-ondulations, les mouvements se détruisent, et bien que deux rayons lumineux aient été ajoutés l'un à l'autre, au lieu d'augmenter la lumière, ils produisent de l'obscurité. C'est ce qu'on appelle l'interférence.

Anneaux colorés. — On remarque un fait analogue lorsqu'on pose sur une plaque de verre, comme un morceau de glace, une lentille plane d'un côté et un peu convexe de l'autre, sa convexité posée sur la glace.

Si l'on fait tomber un faisceau de lumière sur cette lentille, en plaçant sur le trajet un verre coloré, on voit une série d'anneaux ou bandes circulaires obscures et d'anneaux brillants et colorés, dont le centre brillant est au point de contact des deux verres. En regardant de côté, à la lumière réfléchie, on a au contraire une tache noire au centre et une disposition inverse des anneaux.

C'est qu'au point de contact des deux verres il n'existe aucune différence de marche entre les ondes; par suite, il y a un cercle lumineux. Mais en s'éloignant, il y a une lame d'air entre les deux verres qui atteint bientôt une épaisseur d'un quart d'ondulation. Il y a alors une différence dans les chemins parcourus par les rayons réfléchis, l'un sur le verre inférieur, l'autre sur la lentille; cette différence égale une demi-ondulation; il y a discordance de mouvement, obscurité, interférence des ondes, celles qui sont infé-

rieures étant en retard d'un nombre impair de demi-ondulations sur les supérieures.

Plus loin, où l'épaisseur de la lame d'air égale deux quarts d'ondulations, la différence des chemins parcourus est deux ondulations et demie ; il y a accord et anneau brillant. Les réflexions ou chocs changent l'ordre des points lumineux, mais cela ne modifie pas l'explication du phénomène.

Couleur de l'air. — L'air en petites masses est, comme le plus grand nombre des gaz et en particulier comme les deux gaz qui le composent, incolore et par suite invisible ; mais en grandes masses il nous paraît bleu par suite de la réflexion qu'éprouve la lumière ou plutôt les rayons bleus du spectre solaire décomposé ; les rayons rouges et autres passent sans être réfléchis. Mais en montant dans l'atmosphère, le bleu du ciel diminue, la réflexion devenant moins intense, et l'espace qui s'étend au-dessus de nos têtes semblerait, sur de hautes montagnes, être presque complètement noir. Cependant la lumière traverse ces immenses profondeurs intrastellaires, mais elle n'y trouve aucun corps qui la réfléchisse et nous la rende visible.

Lorsque les rayons solaires traversent une couche d'air très-épaisse, les rayons bleus disparaissent, et au contraire les rayons rouges apparaissent. C'est pour cela que lorsque le soleil, par suite du mouvement de rotation de la terre, disparaît à nos yeux près de l'horizon, ses rayons parcourant une grande épaisseur d'atmosphère, nous le font paraître jaune ou rouge.

Par un temps sec l'air devient presque aussi conducteur du son que les solides, et le mouvement du vent apporte aussi de très-loin les sons ; mais ces sons sont eux-mêmes le produit d'un ébranlement de l'air. Il n'en est pas de même de la lumière qui voyage à travers l'air sans en être autrement affectée. Agitons fortement l'air qui environne une lampe, nous ne verrons pas de diminution dans la lumière de celle-ci : c'est ce qui explique pourquoi les grands vents n'empêchent pas de voir distinctement les objets ; mais comme souvent ces grands vents sont accompagnés de nuages ou du transport de différentes matières, il en résulte souvent des nuages opaques qui arrêtent et réfléchissent la lumière et l'empêchent de parvenir jusqu'à nous, parce que leur constitution moléculaire dévie considérablement les rayons lumineux. Il ne nous arrive plus qu'une lumière diffuse qui passe à grand'peine dans les interstices et qui éclaire les nuages eux-mêmes, ou qui en sort par réflexion ; mais quelquefois ces nuages sont si épais que toute la lumière est absorbée, et qu'il fait presque nuit pour nous.

Décomposition de la lumière et déviation.

— Mais lorsque la lumière tombe sur des corps solides liquides ou gazeux qui sont terminés par des surfaces parallèles les unes aux autres, telles que les verres à vitre et autres, les déviations qu'elle éprouve sur chaque face se compensent : l'une corrige et redresse l'autre, et la lumière en sort avec la même direction ; c'est pour cela que nous voyons à

travers les verres ordinaires les objets presque tout à fait dans la position vraie qu'ils occupent.

Mais il n'en est plus de même lorsque les faces du verre sont inclinées l'une sur l'autre et forment, par exemple un triangle, comme dans les prismes triangulaires. Les déviations de la lumière qui passent dans le prisme, puis qui du prisme passent dans l'air, n'ont pas lieu suivant la même direction ; et lorsque le prisme est posé sur sa base, les objets paraissent déviés et rapprochés du sommet ; ils paraissent au contraire abaissés, si le prisme a son sommet renversé en bas. Dans tous les cas, les objets paraissent colorés sur leurs bords, et si on fait tomber un faisceau seulement de lumière solaire ou autre sur un prisme, la lumière est déviée et de plus décomposée en sept couleurs différentes.

L'image que donne le soleil lorsque l'on dévie ses rayons à l'aide d'un prisme, est allongée au lieu d'être ronde ; cette image, qu'on appelle spectre du soleil ou spectre solaire, est de plus, dans ce cas, colorée de sept couleurs principales : le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge.

Le spectre, qui est toujours terminé dans sa longueur par deux lignes parallèles, et dans sa largeur par deux demi-circonférences, est composé de rayons qui tous se dévient plus ou moins ; le violet, par exemple, est toujours plus dévié, et par suite plus rapproché de la base que l'indigo ; celui-ci

est plus réfrangible que le bleu, car il est plus dévié que lui, etc., et ainsi de suite jusqu'au rouge qui est le moins dévié de tous et qui se trouve toujours au sommet du spectre.

Ces couleurs se présentent toujours dans le même ordre, quelles que soient la substance et la forme avec lesquelles on dévie et décompose la lumière blanche; elles passent de l'une à l'autre par des degrés insensibles, et sont complètement inaltérables.

Analyse spectrale. — La moindre poussière de nos appartements contient à l'état volatil des métaux tels que le sodium, métal qui est très-répandu dans la nature et qui, avec l'oxygène, forme la soude, et avec le chlore, le sel marin. Il suffit de la présence d'un trois millionième de grammé de soude dans l'air pour que sa présence soit révélée.

Voici comment. Dans le spectre ou dans l'image du soleil, dont la lumière est décomposée par les prismes en 7 couleurs, il y a de nombreuses raies obscures et étroites que l'on a comptées et décrites, et qui s'élèvent souvent jusqu'à 2 ou 3,000.

Il en est de même des spectres que produisent les lumières électriques ou autres que l'homme sait former. Mais les raies obscures, qui sont fixes dans la lumière solaire, ne le sont plus dans ces lumières artificielles, et de plus lorsqu'on introduit dans leur flamme les sels de certains métaux, la position des raies obscures change, celles qui étaient dans le vert, le jaune, le violet, le bleu, etc., disparaissent ou varient de posi-

tion; quelquefois à leur place il apparaît des raies brillantes, etc. Avec une étude approfondie, on a reconnu quels étaient les changements que produisaient ainsi chaque substance volatilisée, quelles raies correspondaient à chaque métal, et par conséquent on a par là trouvé le moyen de constater ensuite la présence de ces métaux dans toutes les flammes et dans toutes les lumières, puisque l'existence de chacun d'eux est révélée par ses raies.

Ainsi le potassium donne toujours une raie brillante dans l'extrême rouge du spectre et une autre dans le violet. Le spectre du sodium n'a ni rouge, ni orangé, ni vert, ni bleu; il n'y a qu'une raie jaune très-brillante, et paraît, par conséquent, détruire toutes les autres vitesses de la lumière représentées par des colorations différentes.

Mais il est arrivé qu'on a aperçu dans les spectres ainsi étudiés des raies tout à fait nouvelles, qui n'avaient pas été produites par aucun des métaux connus jusqu'ici. On en a conclu que ces raies étaient dues à des métaux nouveaux, et à l'aide de longues recherches on est, en effet, parvenu à extraire et à isoler ces métaux, le cæsium, le rubidium, l'indium, le thallium, qui existent en très-petites quantités dans la nature et qui avaient jusqu'ici échappé à toutes nos investigations.

La science possède donc un nouveau moyen très-sûr d'analyse et de recherches à l'aide duquel les plus faibles parties de matière peuvent être connues et retrouvées.

Métaux du soleil. — Mais on ne pouvait s'arrêter en si belle voie, et en analysant le spectre du soleil avec soin, et en le comparant aux spectres produits par la lumière des métaux terrestres, on a reconnu qu'il présentait les raies qui indiquent la présence de certains métaux, tandis que d'autres sont tout à fait absentes. On a donc ainsi pu dire à peu près quelle est la composition de son atmosphère enflammée, et l'on poursuit aujourd'hui ces recherches sur toutes les étoiles. Ainsi on a trouvé dans l'atmosphère du soleil les raies qui caractérisent la présence du fer, du calcium (chaux), du magnésium, du sodium et de quelques autres métaux, tandis qu'on n'y a pas encore vu celles de l'or, de l'argent, du mercure, de l'aluminium, de l'étain, de l'arsenic, de l'antimoine.

ACTION CHIMIQUE DE LA LUMIÈRE.

Action de la lumière sur les plantes. — La lumière solaire a la plus grande influence sur les fonctions de la vie des plantes. La plupart des plantes ont besoin pour vivre de l'action de la lumière; à l'ombre, elles finissent par s'étioler, se décolorer et s'allonger en s'amollissant; c'est que la lumière les aide à fixer dans leurs cellules le carbone nécessaire à leur existence, qu'elles puisent dans l'air, et qui solidifie leur tissu et leur donne leur couleur verte; en l'absence de la lumière, elles perdent leur coloration; quelques exceptions seulement végètent vigoureusement à l'ombre. Enfin, si le jour les

plantes aspirent du carbone et expirent ou renvoient de l'oxygène, la nuit, en l'absence de lumière, elles font une opération inverse : elles dégagent de l'acide carbonique, c'est-à-dire le carbone aspiré le jour qui a été brûlé par leur oxygène, par suite d'une combustion ou d'une combinaison qui entretient la vie des plantes ; et au contraire, elles absorbent de l'oxygène.

Il est probable que les rayons chimiques de la lumière, qui altèrent quelques-unes des substances qui les reçoivent, ainsi qu'on le voit dans la photographie, sont les causes de l'action exercée par la lumière sur les végétaux.

Photographie. — La lumière du soleil produit différentes actions chimiques, telles que la transformation du phosphore ordinaire en un phosphore rouge bien moins fusible, la coloration verte des plantes, la decoloration de toutes les couleurs des corps, etc., etc. On savait aussi depuis longtemps que le bitume de Judée et d'autres substances comme les sels d'argent, sous la même influence solaire, étaient impressionnables à la lumière. On exposait ainsi au soleil une feuille de papier imprégnée de chlorure d'argent, sur laquelle on avait appliqué une gravure ; les parties noires interceptant la lumière solaire, celle-ci ne pouvait passer pour altérer et noircir le chlorure d'argent que par les parties claires. L'image se trouvait bien reproduite, mais avec des couleurs renversées, les noirs étant représentés par des blancs, les blancs par des noirs. C'est à Niepce et à Daguerre qu'on

doit d'avoir découvert les vrais procédés pour fixer ou photographier sur une plaque de cuivre plaquée d'argent, à l'aide de la lumière, les images exactes des objets. Voici comment on procède.

On prend d'abord une plaque argentée que l'on polit à l'alcool et au tripoli à l'aide de tampons de coton, puis de cuir et de poudre rouge; on l'expose ensuite deux minutes à la vapeur d'iode, jusqu'à ce que la surface prenne une belle couleur jaune d'or qui annonce que l'iode a agi sur l'argent, s'est combiné avec lui et l'a transformé en iodure d'argent; il vaut même mieux atteindre le rose velouté ou pourpre pour que l'iodage soit plus complet. Exposée à la lumière, la plaque iodée est altérée par elle; les parties qui portent ombre ne l'altèrent pas, les demi-teintes peu éclairées l'altèrent plus ou moins selon l'intensité de la lumière, et produisent les dégradations de teintes; en exposant alors la plaque à la vapeur de mercure, chauffée à 75° par une lampe à alcool, l'image qu'on n'apercevait pas avant devient visible, les clairs sont donnés par les parties frappées par la lumière, où l'argent et le mercure sont amalgamés, les ombres par celles qui ne l'ont pas été. Pour opérer avec plus de rapidité, comme cela est nécessaire lorsque l'on veut reproduire non pas une vue, une gravure, mais une scène changeante, un portrait qu'on ne peut conserver immobile pendant dix minutes, on emploie des substances qui accélèrent l'impressionnabilité de la couche d'iode, telles que le brôme, le bromure de chaux ou la

chaux chlorobromée, dont on fait agir la vapeur pendant moins d'une minute environ pour rougir la plaque autant que possible; on procède ensuite à un second iodage, et la plaque peut alors, en quelques secondes, être impressionnée par la lumière. Il importe d'opérer dans l'obscurité, dans une chambre noire, afin que la plaque iodée ne soit pas altérée à l'avance. Pour cela, on se sert d'une boîte quadrangulaire ou carrée, contenant à l'avant un tube avec deux lunettes, convergentes, achromatiques, qu'on avance ou recule, de manière que le modèle soit bien au foyer de l'objectif ou de la lunette. Pour les portraits, le modèle, placé à 3 ou 4 mètres, doit avoir les yeux au foyer même de l'objet; la partie antérieure de la chambre noire contient un écran de verre sur lequel on s'assure que l'image renversée se reproduit avec netteté, et qu'on remplace par la plaque iodée qui doit être altérée par la lumière pendant 10 à 40 ou 50 secondes; une exposition trop longue à la lumière donne une épreuve trop blanche; elle est trop noire lorsque l'exposition est trop courte.

Lorsque l'iode a été impressionné, puis fixé par la vapeur de mercure, on lave dans une dissolution de chlorure d'or, d'hypo-sulfite de soude, qui dissout l'argent non impressionné, tandis que l'or se combinant avec l'amalgame blanc de mercure et d'argent, donne aux clairs de l'image un éclat et une vivacité remarquables. Le miroitage qu'on remarquait dans les anciennes épreuves daguerriennes, disparaît, grâce au chlorure

d'or; l'image apparaît nette, solide, brillante, avec une grande chaleur de tons; l'iodure d'argent, en couche d'un millionième de millimètre, adhère fort à la plaque, étant comme bruni par l'or qui le recouvre, ce qui donne des ombres très-marquées, tandis que la partie frappée par la lumière forme un sous-iodure d'argent peu adhérent, qui s'amalgame pour donner les clairs au mercure, puis à l'or, et augmente de volume d'éclat, de solidité.

Photographie sur papier. — La photographie sur papier, dont les procédés sont dus à Talbot, est beaucoup plus simple dans ses manipulations; elle permet de reproduire les épreuves en nombre illimité et se compose de deux opérations distinctes: l'une, où l'on obtient une image *négative*, à teintes renversées, où les ombres de l'objet correspondent aux clairs de l'image, et réciproquement; l'autre, où à l'aide de cette négative on obtient une image positive, où les teintes sont renversées, de manière à reproduire leur ordre naturel.

Les papiers qui sont employés dans ces deux cas, diffèrent; le papier de l'épreuve négative devant être très-mince et perméable à la lumière, celui de la positive plus épais, tous deux très-fins et très-homogènes. On obtient des épreuves négatives sur verre pour les portraits, sur papier pour paysages.

On fait d'abord prendre au papier une légère teinte bleuâtre en l'étendant sur une dissolution de 30 d'eau et de 1 d'azotate d'argent; séché, on le plonge dans un bain de 25 d'iodure de potassium, 1 de bromure de

potassium et 260 d'eau distillée; on le lave, on le sèche, et il peut être ainsi conservé des mois sans altération. Avant de s'en servir, toutefois, on mouille sa surface avec 11 d'acide acétique, 6 d'azotate d'argent, dans 64 d'eau. C'est alors qu'il peut recevoir, dans la chambre obscure, pendant 10 à 20 secondes, la lumière et l'image de l'objet, ou plus longtemps si le temps n'est pas clair.

On lave ensuite l'épreuve avec 8 d'acide gallique dans 100 d'eau distillée, et l'image apparaît en roux d'abord, puis en noir, par suite de l'action de l'acide gallique sur les sels d'argent. On fixe alors à l'aide d'une dissolution de 5 de bromure de potassium dans 200 d'eau distillée, on lave, puis on sèche; on rend le papier transparent en le saupoudrant de raclures de cire, que l'on fait fondre en y passant un fer chaud qui imprègne le papier de cire.

Une épreuve négative sur verre s'obtient en versant sur une plaque de verre bien nettoyée, à l'aide d'un tampon et de terre pourrie délayée dans l'alcool, du collodion liquide qui contient de l'iodure de potassium; on incline le verre de tous côtés de manière à avoir une couche bien uniforme, et à se débarrasser de l'excès du liquide. L'éther du collodion se vaporise, la surface se ternit et l'on plonge le verre dans une dissolution de 1 gramme d'azotate d'argent pour 10 grammes d'eau. On donne ce bain d'argent dans l'obscurité pendant 50 à 60 secondes, et lorsqu'on a transformé l'iodure de potassium en iodure d'argent, on égoutte, puis on opère

dans la chambre noire comme pour la photographie sur métal. L'iodure d'argent se décompose par la lumière : on plonge la plaque dans une dissolution de 100 d'eau, de 4 d'acide pyrogallique et de 6 d'acide acétique, qu'on chauffe légèrement, et l'image devient visible partout où l'iodure décomposé a formé un gallate d'argent, noir. On lave ensuite dans une dissolution d'hyposulfite de soude, qui dissout l'iodure d'argent non décomposé par la lumière, à cause des ombres qui ont arrêté celle-ci, et qui est resté blanc; ce lavage rend ces blancs inaltérables à la lumière et les empêche de noircir.

Ces épreuves négatives servent de clichés pour donner à volonté, indéfiniment, des épreuves positives, en les comprimant entre deux plaques de verre avec du papier positif imprégné de chlorure d'argent. On expose les deux papiers ainsi assemblés à la lumière, et les noirs de la négative font ombre sur le papier positif, et donnent des clairs, et les clairs de la négative donnent des noirs sur le positif au chlorure d'argent altéré par la lumière. On fixe l'image positive en la plongeant dans une dissolution d'hyposulfite de soude (4 de ce sel et 8 d'eau) pendant 20 minutes, puis en la laissant plusieurs heures dans un bain de 1 gramme de chlorure d'or pour un litre d'eau, qui lui donne de l'éclat.

On prépare aussi des verres à l'albumine, qui peuvent ne pas être employés immédiatement sans perdre leur sensibilité.

On albuminise un verre, en faisant dissoudre dans des blancs d'œufs battus en neige un

centième d'iode de potassium, plus un quart d'eau ; on étend ce liquide, qui peut se conserver en flacon, sur le verre ; on l'y fait sécher, et l'on a une plaque qui reste sensible des mois entiers, donnant des dessins d'une netteté remarquable, surtout pour les paysages, etc., mais trop peu sensible pour les portraits. On opère ensuite comme pour les épreuves négatives sur papier.

VISION

Oeil, vision. — Ce qu'on aperçoit de l'œil au dehors n'est qu'une faible partie des organes qui le composent ; cependant, sans avoir recours à la dissection, ou simplement en prenant l'œil d'un animal, nous pouvons en distinguer les parties principales.

Nous voyons d'abord la cavité osseuse de l'œil ou l'orbite, qui sert de logement à l'œil lui-même, lequel est protégé par les paupières munies de cils, sortes de voiles mobiles qui le garantissent du contact des corps étrangers, car elles ont une sensibilité telle qu'elles se contractent et se ferment au moindre contact qui les irrite.

Le globe de l'œil, dont il ne paraît au dehors qu'une demi-sphère, est d'abord enveloppé du blanc de l'œil, membrane fibreuse, nacrée, appelée sclérotique ou cornée, et qui est opaque, dans les $\frac{4}{5}$ de l'œil. Cette *cornée* se continue en avant, où elle est transparente, et où elle est percée d'une ouverture de 5 à 6 lignes de diamètre ; la cornée transparente est plus courbée en avant que

la cornée opaque. Les rayons lumineux qui tombent sur l'opaque sont en partie réfléchis par elle, ce qui donne aux yeux le brillant qui permet de s'y mirer. Une autre partie des rayons pénètre dans cette membrane qui, étant une lame transparente plus dense que l'air, réfracte ces rayons, les rapproche de la perpendiculaire, d'autant plus fort que la membrane sera plus bombée et que les rayons divergents feront avec sa surface un angle plus aigu.

Derrière la cornée se trouve une chambre antérieure remplie d'une humeur aqueuse qui, ayant un pouvoir réfringent plus considérable que l'air, ne réfracte pas les rayons avec autant de force que la cornée, ni en sens contraire, comme le ferait de l'air qui leur rendrait leur direction primitive. L'action de cette humeur, qui est composée de sels, d'eau et d'un peu d'albumine, rapproche les rayons, les rend moins divergents, et en fait passer une plus grande quantité dans l'ouverture de la pupille.

Cette lumière rencontre alors l'iris, diaphragme, cloison membraneuse, colorée diversement selon les individus, qui présente dans son milieu une ouverture circulaire de grandeur variable, qui est la pupille ou la prunelle. L'iris absorbe ou réfléchit encore une partie de la lumière, et c'est seulement celle qui tombe sur la pupille qui pénètre vers le fond de l'œil. Aussi, plus l'ouverture est large, plus il passe de lumière; si donc celle-ci est faible ou en petite quantité, la pupille se dilate, tandis qu'elle se resserre sous

l'influence d'une lumière vive. Les animaux qui voient la nuit et poursuivent leur proie après le coucher du soleil ont en général la pupille très-dilatable. On voit que c'est l'iris qui agrandit ou resserre cette ouverture, et qui règle par conséquent la quantité de lumière que nous devons recevoir. L'iris est pour cela formé de fibres musculaires dont les plus excentriques se contractent d'elles-mêmes pour dilater la pupille, et les autres, qui entourent l'ouverture, servent à la resserrer.

Les rayons de lumière qui ont traversé la pupille tombent sur le cristallin, sorte de lentille transparente bi-convexe, logée dans une membrane diaphane, la capsule du cristallin, placée derrière l'iris, et qui paraît sécréter le cristallin; car, lorsqu'on retire celui-ci de l'œil d'un animal vivant, comme dans l'opération de la cataracte, sans détruire la capsule, on voit celle-ci remplacer l'ancien cristallin par un nouveau.

Le cristallin change encore la direction des rayons lumineux, et agissant à la manière des lentilles bi-convexes (quoique sa face postérieure soit plus courbe que celle de devant), les fait converger vers un foyer où ils se réunissent.

Ce foyer se trouve placé sur la rétine, membrane molle et blanchâtre qui entoure une masse gélatineuse, diaphane et volumineuse, placée derrière le cristallin, et qu'on appelle l'humeur vitrée. C'est sur la rétine, qui est une membrane nerveuse, que se peignent en petit et à l'envers les images des objets.

Cette rétine n'est séparée de la sclérotique, qui forme le globe de l'œil, que par une autre membrane, la choroïde, qui est imprégnée d'une matière noire, à laquelle le fond de l'œil doit cette apparence foncée que nous voyons à travers la pupille. Cette matière noire fait ainsi de l'œil une sorte de chambre noire; elle absorbe la lumière après qu'elle a traversé la rétine et empêche qu'elle ne soit réfléchié dans d'autres directions, ce qui troublerait la vision et la netteté des images. Chez les Albinos, où cette coloration, composée de fer et de charbon, manque, la vue est très-imparfaite le jour; ce n'est que le soir que leur vue devient distincte, parce qu'ils reçoivent moins de lumière réfléchié.

La rétine où se peignent les images, n'est qu'un épanouissement du nerf optique qui, partant du cerveau, traverse le globe de l'œil, la sclérotique, et s'épanouit sur la rétine, où il apparaît sous forme d'un nombre incalculable de papilles cylindriques, qui ont quelque analogie avec celles de la langue, qui sont très-serrées les unes contre les autres, et ressemblent sous le microscope à une mosaïque. Lorsque les images peintes sur la rétine se transmettent, par l'intermédiaire du nerf optique, aux deux hémisphères du cerveau, la sensation que ceux-ci perçoivent est visuelle. — Mais chaque œil a son nerf optique qui se croise à quelque distance du cerveau, de sorte que, si on coupe le nerf de droite c'est l'œil de gauche qui devient aveugle; d'autres parties du cerveau causent également la cécité lorsqu'elles sont détruites, ce sont les

hémisphères cérébraux et les lobes optiques qui lient les nerfs optiques aux hémisphères.

Mais, dans le fait de la vision, nous sommes continuellement obligés de corriger, par les notions que l'expérience nous a fait acquérir et par ce que nous apprennent les autres sens, les impressions que nous transmet la rétine. Ainsi, pour apprécier la distance d'un objet qui s'éloigne de nous, il faut d'abord que nos yeux changent de direction à chaque position nouvelle ; l'impression que produit sur nous ce changement nous sert à évaluer la distance, mais seulement lorsque nous avons fait depuis longtemps l'expérience de la justesse de ce moyen, car les aveugles de naissance auxquels on fait l'opération de la cataracte et qui n'ont pas la même expérience que nous, croient que tous les objets qu'ils voient pour la première fois sont près d'eux, et ils ont besoin de s'assurer de leur distance en les touchant.

Estimation des grandeurs. — C'est encore l'intelligence et les expériences faites par le toucher qui nous empêchent de nous tromper sur les grandeurs, et de confondre un objet d'une hauteur de 35 mètres à 2 mètres de distance avec un objet qui n'en a que 10 à la distance de 6 mètres, ou que 5 à 12 mètres ; nous corrigeons ainsi les illusions de nos yeux et personne ne croit que le plafond et le sommet d'une longue galerie se touchent, bien que nos yeux nous les représentent ainsi, ni que le ciel touche à la terre, comme l'apparence le ferait croire, ni que les arbres de deux rangées parallèles d'une avenue se

touchent à son extrémité, ni qu'un monument très-élevé qui paraît incliné de notre côté lorsque nous sommes au pied, le soit réellement.

Une illusion plus commune est celle qui fait paraître le soleil plus grand quand il est près de se coucher à l'horizon que lorsqu'il est au-dessus de nos têtes, quoique nous en soyons plus éloignés. Cette grandeur apparente provient surtout de l'affaiblissement qu'éprouve la lumière en traversant des couches d'air plus épaisses et qui nous fait paraître les astres plus près de nous quand ils le sont moins.

Les deux images d'un même objet qui se peignent dans les deux yeux ne nous donnent cependant l'idée que d'un seul objet, mais si nous dérangerons un des yeux de sa position en le pressant du doigt, ou si nous louchons, nous voyons deux objets, parce que les images se forment sur des points de la rétine qui ne se correspondent pas. On attribue cette unité de vue à ce qu'une partie des nerfs optiques perçoit les objets comme un seul nerf, pour les deux yeux.

Persistance des sensations sur la rétine. — *Phénakistiscope.* — Lorsqu'on est resté longtemps dans l'obscurité, la plus faible lumière vous éblouit comme le fait d'ordinaire le soleil. La rétine, du reste, se fatigue à regarder longtemps un même objet, et devient insensible à la couleur des objets; après avoir regardé longtemps un point blanc sur une masse noire, si nous regardons ensuite une masse blanche, nous croyons y voir un

point noir, la rétine étant devenue insensible au blanc. Elle le serait également au bleu et à toutes les couleurs si, après les avoir fixées longtemps, nous regardions du blanc; celui-ci nous paraîtrait vert, jaune, violet, rouge, excepté bleu. L'impression produite par les objets, du reste, dure un certain temps après que leur image est ôtée de devant nos yeux; aussi si l'on fait passer successivement et rapidement des images différentes devant l'œil, de manière que l'impression de l'une ne soit pas encore éteinte lorsque l'autre commence, la sensation qui en résulte est celle d'une seule image ou d'un seul objet. Une roue qui tourne avec vitesse ne paraît plus avoir de rayons séparés mais un seul diamètre: un corps qui décrit un cercle avec rapidité ressemble à un anneau; un cercle peint de toutes les couleurs du prisme ne nous donne que la sensation de lumière blanche, parce que toutes ces couleurs se superposent et se mêlent, et recomposent ainsi le blanc.

C'est encore sur cette propriété qu'est fondé le *phénakistiscope* où des figures d'hommes sont dessinées et peintes sur des cartons divisés en un certain nombre de parties. Sur chaque partie, un homme, par exemple, accomplit la moitié ou le quart d'une action; s'il salue, il lève le bras; sur le carton suivant il porte la main à son chapeau, sur le 3^e il le soulève, au 4^e il met le chapeau bas, puis sur les suivants il le relève et le remet sur sa tête. Un rapide mouvement de rotation imprimé au carton ne donne à la rétine qui reçoit les images reproduites dans une

glace placée devant le carton, qu'une seule sensation, composée d'une suite de sensations toutes différentes. Et l'homme nous apparaît saluant avec rapidité et remettant son chapeau sur sa tête un grand nombre de fois. On varie beaucoup ces dessins, en y représentant des scieries, des jets d'eau, des mouvements de toutes sortes, sauts, danses, etc.

Cataracte. — Pour que la vision soit distincte, il importe que tous les milieux traversés par la lumière restent transparents; cette perte de transparence entraîne toujours la cécité. Ainsi, dans la cataracte, où le cristallin devient opaque, la lumière n'arrive plus à la rétine, et il faut extraire ou abaisser ce cristallin. S'il se forme sur la cornée transparente des taches blanches ou taies, la vision devient également impossible.

Nous voyons aussi nettement les objets à une petite distance qu'à une grande; cependant, quelquefois, cette faculté précieuse, dont la raison est encore inconnue, nous manque.

Myopie. — Les myopes, au contraire, ont la vue trop courte et ne voient distinctement qu'à une distance de 10 à 15 centimètres, par suite d'une trop grande courbure de la cornée ou du cristallin, qui se rencontre souvent dans la jeunesse et disparaît avec l'âge. Les rayons sont alors tellement déviés qu'ils se croisent avant d'arriver sur la rétine; on remédie à ce défaut par l'usage des lentilles bi-concaves qui augmentent la divergence des rayons et ramènent le foyer sur la rétine. C'est une infirmité qu'on peut, du

reste, contracter en s'habituant à la vision à courte distance, et c'est ainsi que des jeunes conscrits se rendent myopes à volonté par un usage continu de verres grossissants. Avec l'âge cette infirmité s'affaiblit.

Lorsque la rétine est paralysée, comme dans la goutte sercine, la vision est impossible; la sensibilité très-singulière de cette membrane nerveuse qu'on peut pincer et déchirer sur un être vivant sans douleur pour lui, est très-blessée d'une lumière trop forte, qui la rend incapable d'agir.

Presbytie. — Il est des personnes qui voient distinctement les objets à une distance de quelques mètres et qui ne reçoivent de près que des images confuses. Cette infirmité d'une vue trop longue, appelée presbytie, oblige, par exemple, à placer les caractères d'imprimerie qu'on lit ordinairement facilement à 20 ou 25 centimètres, à 80 ou 90 centimètres; elle provient d'un trop grand aplatissement de la cornée ou du cristallin, qui diminuent de convergence, ce qui recule au delà de la rétine le foyer des rayons partis d'un objet placé à la distance de la vue distincte ordinaire. Les rayons qui viennent des objets éloignés divergent très-peu et peuvent être rassemblés sur la rétine, mais ceux qui parviennent d'objets rapprochés divergent beaucoup; le pouvoir réfringent du cristallin ou de la cornée est trop faible pour les réunir, et l'image n'est pas formée. Aussi voit-on la pupille des presbytes toujours contractée, et faisant un effort continu pour ne laisser passer dans l'œil que des rayons qui tombent

sur le milieu du cristallin et qui n'ont pas besoin d'être beaucoup déviés de leur route pour se peindre sur la rétine. Cette infirmité se rencontre surtout chez les vieillards, à cause du desséchement des organes produit par l'âge. On corrige ce défaut par l'emploi de lentilles bi-convexes, qui diminuent la divergence des rayons avant leur entrée dans l'œil, et ramènent le foyer sur la rétine.

Double vision. — Lorsque je ferme alternativement l'œil gauche, en ouvrant le droit, puis que je ferme le droit en rouvrant le gauche, en fixant une lampe, un abat-jour, une pile de livres, des objets quelconques, je remarque que ces objets semblent se déplacer, aller à droite quand j'ouvre l'œil gauche, aller à gauche quand j'ouvre l'œil droit; je ne les vois pas non plus de même : par exemple, l'espace qui sépare deux objets est plus grand quand je les regarde par l'œil gauche s'ils sont à ma droite, et, plus petit s'ils sont à ma gauche; si je les regarde de l'œil droit et qu'ils soient à ma gauche, l'espace qui les sépare est plus grand, et, s'ils sont à ma droite, il est plus petit. Il est donc bien évident que chaque œil ne voit pas les objets dans la même position; mais lorsque j'ouvre les deux yeux, je vois les objets dans une position réelle, qui se rapproche toujours beaucoup d'une des positions que j'ai observées en fermant un œil. Ces deux images qui se forment dans chaque œil concourent donc à nous donner l'impression réelle et complète d'un seul objet; car l'œil gauche, en voyant l'image plus du côté droit,

voit des détails sur la face gauche de cet objet, que l'œil droit, pour qui l'image est plus à gauche, ne verrait pas; l'œil droit, à son tour, voit sur la surface droite de l'objet ce que l'œil gauche ne verrait pas; la notion totale se complète, et, lorsque les deux yeux regardent à la fois, l'esprit reçoit une impression totale, qui résulte de l'impression partielle de chaque œil.

Stéréoscope. — Nous attribuons aux objets que nous voyons le relief et les contours qu'ils ont réellement, parce que, après les avoir touchés souvent et examinés, nous connaissons leur forme; mais ce n'est pas l'œil qui nous apprend beaucoup à ce sujet; il voit la surface des objets, et ce n'est qu'à l'aide des ombres et des jeux de la lumière qu'il peut nous donner quelque notion de leur relief. A distance ou dans l'ombre, il est souvent impossible de distinguer autre chose que la forme superficielle des corps, de savoir, par exemple, si un objet est rond ou carré. Les trompe-l'œil en peinture ou en écriture, où les ombres et les effets de lumière sont bien observés, nous laissent souvent dans le doute si nous voyons une copie ou la réalité. C'est donc surtout l'intelligence qui combine les images reçues par les yeux et donne la sensation du relief. Toutefois, nous avons vu le rôle que remplit chaque œil dans cette tâche.

Le stéréoscope est précisément fondé sur cette propriété d'une vision unique avec des images différentes. Il consiste en une boîte au fond de laquelle on place deux dessins à

peu près semblables du même objet, tels que le verrait en réalité chaque œil séparé. Une petite fenêtre, recouverte d'une feuille d'étain, s'ouvre ou se ferme sur le devant de la boîte, et sert de réflecteur destiné à donner de la lumière à l'image.

Deux tubes terminés à la partie supérieure par des lentilles en forme de prisme triangulaire servent à amplifier les images, à faire dévier les rayons qui se dirigent vers les yeux qu'on applique près des lentilles, et, par cette déviation, à faire paraître les images en un seul point, au milieu des deux dessins, images qui, de même que les objets dans la nature, nous apparaissent avec leurs reliefs. On a remplacé les prismes par les deux moitiés d'une lentille bi-convexe, avec chacune desquelles on possède des lentilles parfaitement symétriques, ce qui est le point important des stéréoscopes.

Les images placées dans le stéréoscope, statues, portraits, bas-reliefs, paysages, vues diverses, scènes animées, sont généralement obtenues à l'aide de la photographie. Il suffit en effet de prendre deux images du même objet au daguerréotype, en se dérangeant seulement un peu à droite pour l'une, puis un peu à gauche pour l'autre, mais toujours à la même distance, pour avoir des images qui présenteront des reliefs suffisants.

On a observé également qu'une couleur, le jaune, par exemple, vue à gauche, et une autre le bleu, vue à droite, donnent, au stéréoscope, une couleur mixte, le vert, lorsqu'on regarde avec les deux yeux.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE

Loupes, lentilles, verres grossissants. — Pour augmenter la puissance de la vue, il suffit de rendre l'image qui se peint sur notre rétine plus distincte et plus grande que nous ne la percevons ordinairement, afin d'en mieux voir tous les détails.

On se sert pour cela d'une lentille très-convexe ou d'une sphère transparente, appelée *loupe* ou microscope, et l'on place les objets à examiner au foyer de cette loupe. A la distance ordinaire de la vue distincte, c'est-à-dire à 30 centimètres, les petits objets envoient sur notre rétine une trop faible lumière et une trop petite image pour être bien perçus dans toutes leurs parties; en approchant ces objets le plus près possible, les rayons de chaque faisceau lumineux sont encore trop divergents et ne concourent point ensemble sur la rétine; par suite, l'image reste confuse.

La loupe sert précisément à donner aux rayons la direction nécessaire pour rendre bien distincts les objets, comme s'ils avaient subi eux-mêmes un grossissement.

Une boule de verre, une goutte d'eau peuvent servir de microscope; les plus parfaits sont ceux de diamant, de grenat, de rubis ou de saphir. Pour profiter du grossissement produit, il importe de bien placer la loupe et de varier la position de l'objet selon la vue de l'observateur. Un myope doit trouver

dans une même loupe un moindre grossissement qu'un presbyte.

Il est facile de construire un microscope composé d'un pouvoir grossissant beaucoup plus grand, en prenant deux lentilles convergentes, à foyer court, c'est-à-dire à foyer très-rapproché de la lentille même. Le verre ou la lentille qui est placée près de l'objet a son foyer placé à une distance très-courte, c'est l'objectif; l'autre, l'oculaire, derrière lequel se place l'œil de l'observateur, a une distance beaucoup plus grande depuis son foyer jusqu'aux deux points opposés de ses bords. L'image déjà grossie par l'objectif l'est encore une fois par l'oculaire, qui la redresse et la fait voir dans sa véritable position. On emploie même quelquefois plus de deux lentilles. On obtient ainsi des grossissements de 500 fois, 1,500 fois et même de plusieurs millions de fois.

Foyer des lentilles. — Je prends un verre grossissant, je l'expose aux rayons du soleil, et je place derrière lui une feuille de papier blanc, que j'approche et que j'éloigne tour à tour. Je remarque que l'image ronde du soleil, qui se forme sur cette espèce d'écran, est plus grande lorsque l'écran est près du verre que lorsque je l'en éloigne un peu. En l'éloignant davantage, je vois cette image se rapetisser de plus en plus, et il vient un moment où elle ne forme plus qu'un point. A ce moment, tous les rayons lumineux sont tellement concentrés, que ce point devient un *foyer ardent*, et mon papier brûle comme si je l'avais approché d'une allumette enflammée.

Mais si, après avoir ainsi fait un trou à mon papier en le brûlant, j'éloigne encore davantage l'écran de la lentille, je m'aperçois que l'image du soleil grandit peu à peu, et qu'elle reprend les proportions qu'elle avait lorsqu'elle était près du verre. Il vient même un moment où cette image disparaît et fait place simplement à l'ombre du verre, ombre qui ne diffère en rien de l'ombre de mon doigt ou de tout autre corps opaque, comme si les rayons ne le traversaient plus.

Le point où je puis enflammer le papier, c'est-à-dire la distance entre l'écran et le verre à laquelle se produit cet effet, est appelé le *foyer* du verre ou de la lentille.

Si maintenant je colle contre ma lentille de verre un petit triangle de papier, et que je tiens le verre de manière que le sommet du triangle soit bien en haut et la base bien en bas, je vois que, lorsque le papier est près du verre, l'image du triangle est semblable, quoique plus petite, au triangle lui-même; mais lorsque j'ai reculé l'écran au delà du point ou du *foyer* qui embrase mon papier, je trouve que l'image de mon triangle s'est renversée. Le sommet est en bas et la base est en l'air; je rapproche l'écran du verre en dépassant le foyer, l'image se redresse; je recule l'écran au delà du foyer, l'image se renverse.

J'examine, pour me rendre compte de ce phénomène, comment est construit mon verre grossissant et je vois qu'il est bombé ou bi-convexe des deux côtés; j'en conclus que,

lorsque la lumière tombe sur une lentille, ses rayons se dévient en passant de l'air dans le verre, se réfractent dans celui-ci, se réfractent une seconde fois en en sortant et en revenant dans l'air, et qu'alors, en continuant leur route, ils se coupent tous ou se rejoignent dans un point plus ou moins éloigné de la lentille et qu'on appelle *foyer* ; j'en conclus encore que, lorsqu'ils y sont concentrés, ils peuvent enflammer les corps ; et que, au delà de ce foyer, ils produisent une image renversée des objets d'où ils proviennent.

Pour redonner à cet image l'aspect naturel, il faut, à l'aide d'une seconde lentille, ramener les rayons à leur direction primitive, inverse de la précédente.

Lorsque l'on place un objet lumineux ou seulement éclairé entre la lentille bi-convexe et le foyer de cette lentille, c'est-à-dire si on rapproche beaucoup l'objet de la lentille, on obtient des rayons qui se réfractent dans la lentille, mais qui ne convergent pas à sa sortie. Ils arrivent à l'œil qui se place derrière cette lentille, et lui donnent une image agrandie de l'objet. C'est la loupe ordinaire.

Lunettes. — Lorsqu'on eut observé que la superposition à distance de verres convexes et concaves avait la propriété de grossir les objets, on eut naturellement l'idée de s'en servir pour mieux voir de loin, et de rapprocher les distances en adaptant ces verres à chaque extrémité d'un tube. On créa ainsi la lunette d'approche. Cette découverte, qui ne date guère que de 1600 environ, fut due au hasard et non à la volonté d'un homme ;

Lippershey fut son premier constructeur.

On se sert aujourd'hui de lentilles ou de verres bombés sur chaque face, mais bombés en sens opposés; de lentilles bi-concaves ou creusées de chaque côté; ou de ménisques convergents à bords tranchants, ou divergents à bords épais. C'est avec ces verres bombés du côté des objets et concaves du côté de l'œil qu'on constitue les lunettes qui permettent de voir de tous les côtés, tandis qu'avec les premiers seuls, on ne voit guère les objets nettement que dans un très-petit espace, autour du centre de la lentille.

Longues-vues. — Les lunettes terrestres, ou longues-vues, se composent de quatre lentilles convergentes, dont deux sont placées entre l'oculaire et l'objectif, de manière à redresser l'image. L'oculaire y sert toujours de loupe.

Ces lentilles sont ordinairement placées dans un tuyau composé de trois parties mobiles; les deux lentilles intermédiaires sont dans le même tuyau, les deux extrêmes ont chacune leur tuyau spécial. Les objets donnent d'abord sur l'objectif une image renversée; les rayons continuent leur route jusqu'à la seconde lentille, où ils convergent vers son foyer et vont former une nouvelle image redressée au foyer principal de la troisième lentille, où on la regarde par l'oculaire.

Télescopes — Les télescopes se composent de miroirs métalliques courbes, placés au fond d'un long tube et combinés de manière à former par réflexion une image réelle d'un objet très-éloigné. La concavité du miroir est

tournée vers les astres, dont l'image formée en avant du miroir est vue au moyen d'une loupe ou d'un oculaire. On noircit les parois internes des tubes pour éviter toute réflexion de lumière, comme on le fait du reste dans toutes les lunettes dont nous avons parlé.

Les objets, étoiles, planètes, etc., que les astronomes observent, étant très-éloignés, il importe que les lunettes à leur usage grossissent considérablement les images qu'elles en donnent. Aussi les lunettes astronomiques comprennent-elles deux lentilles bi-convexes (convexes des deux côtés), un objectif d'un long foyer et un oculaire de très-peu d'étendue (pour réunir beaucoup de lumière), qui grossit encore l'image, comme la loupe. Le grossissement est du reste d'autant plus grand que l'ouverture de l'objectif est plus grande et celle de l'oculaire moins grande. Du reste, les objets sont vus dans une position renversée et le grossissement est d'environ 600 à 900 fois.

La lunette de Galilée, ou des théâtres et de spectacle, se compose d'un objectif bi-convexe convergent et d'un oculaire bi-concave divergent. Ce dernier est placé entre l'objectif et son foyer principal de manière à rendre divergents les rayons convergents de l'objectif, absolument comme s'ils provenaient de l'objet placé entre les deux lentilles. L'objet se trouve ainsi grossi sans être renversé.

Microscope solaire. — Le microscope solaire, qui sert à examiner les objets de petites dimensions, est formé d'un miroir plan, qui réfléchit les rayons du soleil, et de trois,

lentilles convergentes dont les deux premières servent à concentrer la lumière sur l'objet à examiner, et la troisième à amplifier l'image qui en est transmise.

Plus l'objet est voisin du foyer et plus le grossissement est fort ; c'est pour cela qu'on rend la lentille objective mobile de manière à l'approcher à volonté de l'objet et à augmenter la grandeur de l'image.

Les objets microscopiques qu'on observe de cette manière, animaux, vers habitants de gouttes d'eau ou de matières en putréfaction, révèlent tout un monde d'infiniment petits excessivement curieux. On peut même voir se former des cristaux de dissolutions salines, et assister à la solidification régulière de ces particules infiniment minces de matière.

On place ordinairement les objets à examiner sur des lames de verre qui glissent entre deux plaques métalliques, disposées convenablement.

On remplace souvent le microscope solaire par un microscope à lumière électrique, qui a à peu près la forme d'une lanterne magique, et permet à toute heure d'étudier les objets sur un écran où l'on en projette l'image.

Mégascope. — Fantasmagorie. — Le mégascope sert à donner de grandes images des objets. Lorsqu'on ne se sert pas de lumière solaire, on peut rendre le mégascope portatif et l'éclairer par une lampe. C'est ainsi qu'est construite la lanterne magique. Les objets ou verres peints de diverses figures sont éclairés

par la lumière d'une lampe placée à l'intérieur d'une caisse de fer-blanc et sont posés en avant du foyer principal d'une lentille bi-convexe. Les images amplifiées par cette lentille et par une autre qui les projette, sont reçues sur un tableau blanc ; on présente toujours les verres à l'envers, sans quoi la lentille convexe les reproduirait elle-même à l'envers.

La *fantasmagorie* est une lanterne magique mobile qui s'approche ou se recule d'un écran en taffetas gommé derrière lequel elle est posée. On place le spectateur devant, dans l'obscurité ; il voit l'image se peindre sur l'écran, et selon que l'on avance ou qu'on recule la lanterne et l'objet, l'image grandit ou diminue, et semble s'avancer ou s'éloigner du spectateur et produit des apparitions et disparitions successives.

Chambre obscure. — La chambre obscure est destinée à donner, sur un tableau, une image plus petite d'un objet ou d'un paysage. Il est facile d'en faire une en fermant toutes les fenêtres d'une chambre, et en bouchant toutes les ouvertures qui pourraient laisser passer de la lumière. On perce un seul trou dans un volet, on y place une lentille convergente, autrement dit un verre grossissant, et on met au foyer de cette lentille, foyer qu'on reconnaît par tâtonnement, un écran de papier blanc sur lequel se peignent les objets, maisons, rues, hommes, qui se trouvent devant l'ouverture. On a soin de tourner la concavité de la lentille bi-convexe ou convergente vers les objets extérieurs.

Mais les images ainsi reçues étant renversées, on dispose, pour les redresser, un miroir placé à 45° , qui reçoit les images de la lentille; et l'on peut observer les images qu'il réfléchit sur un verre dépoli placé horizontalement à la paroi supérieure de la chambre.

Il est quelquefois plus aisé de recevoir d'abord les images sur un miroir oblique, qui les renvoie ensuite sur la lentille placée horizontalement, laquelle les transmet renversées au fond de la chambre, sur un écran qu'on peut également rendre oblique pour faciliter la vue des images.

Chambre claire. — La chambre claire ou *camera lucida*, s'emploie pour dessiner les paysages, les édifices, etc. C'est un prisme quadrangulaire dont un des angles est droit à 90° , un autre à 135° et les deux derniers égaux entre eux, chacun à $67^\circ \frac{1}{2}$. Les rayons venus du corps pénètrent dans le prisme perpendiculairement par une de ses faces, qui est verticale; ils sont réfléchis par la face inférieure inclinée, puis par une autre face, latérale oblique, et ressortent par la face supérieure horizontale. Un observateur, en regardant sur cette face, et surtout sur l'angle opposé à la face perpendiculaire, croit voir les objets au-dessous du prisme dans une direction horizontale, et il en peut suivre tous les contours avec un crayon sur un carton placé horizontalement au-dessous. On remplace souvent ce prisme quadrangulaire par un prisme isocèle.

Kaléidoscope. — Le kaléidoscope se compose de miroirs inclinés qui reproduisent et

multiplient l'image des objets placés devant et entre eux, de manière à former des rosaces, etc. Plus on incline les miroirs, plus on a d'images; un angle de $1/5$, $1/6$, $1/10$ de circonférence, donne 5, 6, 10 images; les petits objets remués par le mouvement donnent de nouveaux dessins analogues à ceux nécessaires à l'impression des étoffes, etc. On a même ainsi des images en ligne droite ou bordures, lorsque les miroirs sont parallèles l'un à l'autre, et des images en coin, en plaçant les miroirs à angles droits.

On a adapté au kaléidoscope ordinaire une lampe à réflecteur qui éclaire l'image, et au moyen d'une chambre noire on transporte l'image sur une glace dépolie ou un écran, où l'on décalque avec un papier transparent les contours des dessins.

Diorama. — Le diorama est composé de deux toiles peintes différemment; l'une éclairée par devant ou d'en haut par réflexion, la seconde, plus foncée de couleur, éclairée par derrière seulement ou par réfraction, à l'aide de croisées verticales qu'on n'ouvre que lorsqu'on ne veut plus voir le premier tableau.

On fait passer la lumière des croisées par parties et par des milieux diversement colorés, avant de la faire tomber sur les toiles.

Comme les couleurs naissent de l'arrangement des molécules des objets, toutes les substances employées pour peindre sont incolores, seulement elles réfléchissent tel ou tel rayon de la lumière complète.

On ne peint que des effets de jour et de nuit, mais on leur donne des dégradations insensibles à l'aide de milieux interposés.

Apparition, spectres. — Lorsqu'on se regarde dans une glace transparente et sans tain, et que l'espace en avant et en arrière est également éclairé, on ne voit pas d'image se produire. Mais si on rend obscure la partie en avant de la glace, et qu'on éclaire un objet quelconque caché à la vision directe, on a une image de cet objet qui se détache avec intensité derrière la glace, à distance égale de celle de l'objet. L'obscurité fait ici l'office du tain.

On a profité de cette disposition pour produire au théâtre des apparitions de spectres, dont on ne voyait que l'image et dont les mouvements et la figure étaient cependant ceux de personnes réelles.

Pour la production de ces spectres dans une demi-obscurité, on dispose trois glaces sans tain de 8 mètres de long sur 4 mètres de haut dans un même cadre, et inclinées à 45° par rapport au plan de la scène. Ces glaces doivent être très-nettes. Les acteurs dont les images doivent être réfléchies par les glaces pour produire les apparitions, se placent sur l'avant de la scène, contre l'orchestre, dans un vide fait exprès. Leur position, relativement à l'inclinaison des glaces, doit être telle que les images soient bien verticales et en contact avec le plancher du théâtre, au moins pour les spectateurs placés au même niveau, car pour ceux qui sont plus élevés, les images semblent quitter la

terre. On projette alternativement de la lumière sur l'image, ce qui amène des apparitions et des disparitions successives, et l'obscurité qui règne au fond du théâtre sert de tain à la glace sur laquelle se peignent les spectres.

Phares. — Les phares servent à éclairer de loin les côtes.

Les simples feux de port sont composés d'une ou deux lentilles; les feux de premier ordre en ont plusieurs formant des figures à 6, 8 pans; ils tournent par un mécanisme d'horlogerie autour des lampes, de manière à transmettre la lumière de tous les côtés. D'autres lentilles inclinées, formant le dôme et la base des phares, sont disposées pour réfléchir horizontalement toute la lumière qui leur parvient, et elles concourent à former les faisceaux et les nappes lumineuses.

On voit quel chemin a fait l'industrie des phares depuis les simples feux de bois des anciens jusqu'à la concentration des rayons d'une lampe à double courant d'air sur un miroir métallique réfléchissant. Depuis cette invention, et surtout depuis que Fresnel eut l'idée d'imprimer au réflecteur un mouvement uniforme de rotation qui dirigeait la lumière tour à tour vers tous les points de l'horizon, le plus grand progrès accompli est certainement l'emploi des lentilles à échelons, dont l'usage accroît l'intensité de lumière et permet aux feux fixes ou mobiles et aux feux colorés d'éclairer au loin jusqu'à 20 lieues. En tournant, il se produit des éclipses de feu qui servent à faire reconnaître aux

marins le lieu où ils se trouvent, le nombre de ces éclipses étant connu.

Pour construire ces lentilles en échelons, on dispose autour d'une lentille centrale une série d'anneaux de verre ayant le même centre que la lentille et dont on a calculé la concavité, de manière que tous aient le même foyer et fassent l'effet d'une seule lentille, dont la construction serait très-difficile et l'effet toujours incomplet. C'est ainsi que sont aujourd'hui construits la plupart des phares établis pour porter en mer la lumière à de grandes distances, 60 à 80 kilomètres.

On place la lumière produite soit par plusieurs becs de lampe, soit par la combustion du gaz de l'éclairage, soit par l'électricité au foyer commun de ces lentilles complexes ; les rayons lumineux, après avoir traversé sa surface sans subir aucune divergence et par suite aucun affaiblissement, sortent au dehors en un large et intense faisceau parallèle, d'une portée considérable.

Achromatisme. — Lorsque la lumière tombe sur une lentille, nous avons vu qu'elle dévie de sa route ; mais de plus les lentilles, comme les prismes, décomposent la lumière blanche, et donnent sur leurs bords, qui paraissent alors *irisés*, les couleurs du spectre. C'est que les divers mouvements décomposés ou les rayons colorés se réfractent différemment et font leur foyer dans des points différents pour chacune des couleurs. Aussi les objets vus à travers les verres concaves ou convexes ont-ils toujours près de leurs bords des franges irisées, comme on peut s'en con-

vaincre en regardant avec un de ces verres, un objet quelconque éclairé par le soleil. Lorsque l'on place les lentilles derrière un oculaire à travers lequel on les regarde, celui-ci superpose au centre ces diverses images; il y a une sorte de recombinaison blanche pour les couleurs centrales, mais les couleurs extrêmes ne sont pas recomposées et restent visibles.

Pour remédier à cet inconvénient, qui nuit à la netteté de la vision, ou, comme on dit, à l'*achromatisme* des lentilles, il faut accoler une lentille bi-convexe à une lentille bi-concave, ou placer entre l'oculaire et l'objectif un verre qui rassemble les rayons épars; rigoureusement, il faudrait sept lentilles pour ramener chaque rayon au centre, mais deux suffisent généralement.

Mesure des pressions par la lumière et les couleurs. — Lorsque l'on serre un petit écrou avec les doigts, la pression développée est de 220 kilog. Lorsqu'on décalque une lettre avec une presse à copier ordinaire, on presse avec une force de 8 à 900 kilog. On peut mesurer de même la pression de toutes les presses, étaux, balanciers, systèmes de leviers, etc.

Il suffit pour cela de placer, entre les surfaces comprimantes, une plaque de verre de 2 à 3 centimètres; la lumière qui traverse cette plaque comprimée se trouve modifiée; il y a un effet de double réfraction, c'est-à-dire qu'on obtient deux images ou deux faisceaux de lumière au lieu d'un; l'un des

rayons, l'ordinaire, qui est d'abord blanc, change de couleur et arrive au gris bleu après avoir traversé toutes les couleurs du spectre, lorsque la pression égale 535 kilog., l'autre rayon, ou rayon extraordinaire; donne les couleurs complémentaires du premier rayon et part du noir pour arriver au gris blanc. Une pression de 54 kilog. colore le rayon ordinaire en jaune brun; 64 kilog. en rouge clair; 70 kilog. violet foncé; 77, indigo; 84, bleu; 138, vert pâle; 142, vert jaune; 153, jaune vif; 183, orangé; 216, pourpre; puis la dégradation des couleurs recommence en sens inverse; 228 kilog. donnent le violet; 240, l'indigo; 290, le vert; 305, le jaune impur; 535, le gris bleu.

On peut ainsi mesurer, à l'aide de ce dynamomètre optique et en ajoutant de nouvelles plaques de verre, des pressions, de 13,000 kil., 26,000 kil., 39,000 kil., etc.

Couleurs complémentaires. — Le nom de couleurs complémentaires que nous venons d'employer et que nous avons déjà mentionné s'applique aux couleurs simples ou composées, qui donnent du blanc lorsqu'on les mélange ou qu'on les réunit par un moyen quelconque. — Quant aux sept couleurs : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet, il faut remarquer que deux de ces couleurs, distantes d'un rang, donnent toujours par leur mélange la couleur qui les sépare.

Aurores boréales et australes. — Dans les contrées qui avoisinent les pôles de la terre, les météores lumineux qu'on appelle des aurores boréales sont pour ainsi dire

permanents et réguliers ; ils remplacent en quelque sorte le soleil. Ce phénomène présente toujours à peu près le même aspect ; il débute par des jets brillants de lumière qui jaillissent au-dessus de l'horizon ; deux grandes colonnes lumineuses s'élèvent peu à peu, à droite et à gauche, à une grande distance ; elles semblent monter vers le ciel en changeant sans cesse de couleur et en passant du jaune au vert, puis au rouge. Elles se réunissent ensuite par leurs sommets, à une grande hauteur, en formant une immense voûte de feu, qui subsiste des heures entières. De cet arc, s'élancent des traits de feu, des fusées étincelantes qui vont se réunir dans un petit cercle qui forme la couronne de l'aurore boréale. Une fois cette couronne formée, le phénomène a déployé toute sa magnificence, et son éclat diminue peu à peu.

Dans nos climats, ces météores sont très-peu fréquents et ils n'ont jamais un aspect aussi splendide qu'aux pôles, où, sur deux cents jours, cent cinquante ont des aurores boréales.

Ces aurores paraissent le résultat de courants électriques qui se dégagent des pôles vers les hautes régions de l'atmosphère. Des décharges se produisent entre l'électricité positive de l'atmosphère et l'électricité négative du globe ; ces décharges se déroulent en espèces de replis comme un vaste manteau de feu, dont la base est rouge, le milieu vert, le reste jaune. Dans les régions plus rapprochées de l'Equateur l'action du

soleil sépare et maintient séparées les deux électricités de la terre et de l'atmosphère, et empêche la formation de ces courants constants qui se développent aux pôles, et qui donnent aux étincelles, aux éclairs et à la lumière électrique, une étendue, une puissance et une durée incomparables.

APPENDICE

Applications des forces et des moteurs physiques à la mécanique. — Nous avons vu déjà de nombreuses applications des forces physiques, telles que la chaleur, l'électricité, la pesanteur, pour produire du travail mécanique dans les machines. Il en est d'autres encore qui se rapportent surtout à l'action de la pesanteur, aux mouvements de l'eau et du vent, dont nous devons dire un mot.

Mais, dans ces diverses machines, on peut tout réduire en définitive à trois conditions principales : un point d'appui, une résistance à vaincre, et une force ou une puissance capable de vaincre cette résistance.

Levier. — Ainsi, lorsqu'on place sous une lourde pierre une barre de fer ou de bois, que l'on soulève pour remuer la pierre plus aisément, on a : 1° une puissance représentée par notre bras et la barre de fer ; 2° un point d'appui qui permet à cette puissance d'agir, c'est la terre sur laquelle s'appuie la barre ; 3° enfin une résistance à vaincre, c'est le bloc de pierre. — Les machines les plus compliquées présentent toujours ces trois éléments indispensables, que nous venons de voir réduits à leur plus simple expression dans le levier.

Dans un bateau à vapeur, la puissance, c'est l'action de la vapeur, le point d'appui, c'est l'eau frappée par les roues du bateau, la résistance, c'est encore l'eau et le bateau, car quelquefois le point d'appui et la résistance sont réunis dans un même objet. Dans les chemins de fer, ce point d'appui, c'est l'adhérence des roues sur les rails ; lorsque ce point d'appui manque, les roues tournent, la puissance de la vapeur agit toujours mais le convoi n'avance pas. On voit par là combien le point d'appui a d'importance en mécanique. Aussi Archimède disait-il : Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde.

Tantôt le point d'appui est placé entre la puissance et la résistance comme dans les ciseaux, les tenailles, les barres des pompes ; tantôt la résistance est entre le point d'appui et le point d'application de la puissance, comme dans les casse-noisettes, les couteaux à chapelier le pain, les bateaux à rames, les brouettes. Tantôt, enfin, la puissance est entre le point d'appui et la résistance, comme dans les pincettes, les ciseaux à tondre les bêtes à laine, et les muscles des animaux ; l'os est ici la résistance, le muscle qui s'attache à l'os et qui se contracte pour le remuer est la puissance, et l'emboîture de l'os est le point d'appui.

Les cordes, les poulies, les mouffes, les tours, les roues dentées, les cabestans, les grues, les crics, sont des applications variées des divers genres de leviers que nous venons de signaler ; tous ont pour point d'appui des

corps solides ; la puissance varie de nature, selon le caractère du moteur qui met ces machines en mouvement.

Mais en dehors de la vapeur et des autres moteurs dont nous avons déjà parlé, on se sert encore fréquemment de l'eau et du vent soit pour produire un mouvement, soit pour produire une pression.

Tout courant d'eau peut, en effet, donner un travail mécanique utile, si l'on a soin d'utiliser le mouvement du courant pour faire marcher des machines. On se sert de différentes formes de roues pour arriver à ce résultat ; les unes sont à palettes ou à aubes verticales ou horizontales, d'autres sont à augets ou à pots, et elles reçoivent l'eau dans les cavités spéciales, où celle-ci exerce une pression qui fait tourner la roue.

Effets dus aux pressions dans tous les sens.
— Dans les liquides, et grâce à leur mobilité, toute pression qui s'exerce dans un sens se transmet immédiatement dans tous les sens.

Ainsi les liquides exercent d'abord des pressions de haut en bas sur les vases qui les renferment ; mais ces pressions ne s'exercent que comme si un poids était attaché à la base seule du vase ; les pressions qui ont lieu sur les parois sont insensibles dans ce cas, et des vases de formes différentes, l'un égal en haut et en bas, l'autre dont le bas sera plus grand que le haut ou que le goulot, le dernier dont le bas sera plus petit que le haut, mais qui auront tous une base ou un fond d'égale surface, supporteront des pressions égales, bien qu'ils contiennent des quantités très-

inégales de liquides : cette pression étant représentée par un cylindre ayant pour base le fond du vase et pour hauteur la hauteur même du vase.

Il est ainsi possible d'exercer des pressions très-grandes avec peu de liquide. On peut faire rompre le fond d'un tonneau en adaptant à ce tonneau un tube très-long et très-étroit qu'on remplit d'eau. Le fond du tonneau supporte alors une pression égale au poids énorme d'une colonne d'eau ayant pour base le fond du tonneau, et pour hauteur la hauteur du liquide contenu dans le tube.

Quand on perce une ouverture dans les parois de côté d'un tonneau plein d'eau, l'eau s'écoule ; il y a donc une pression latérale qui s'exerçait avant sur la paroi du tonneau et qui produit l'écoulement de l'eau.

Il y a de même des pressions de bas en haut, et c'est pour cela que l'eau se précipite dans un bateau percé par le fond.

Presse hydraulique. — On utilise cette force de pression de l'eau dans la presse hydraulique, qui produit des effets considérables. Elle consiste en un piston que presse l'eau de bas en haut dans un tube résistant en fonte. Le liquide arrive dans ce tube après avoir traversé un autre tube beaucoup plus élevé qui communique avec lui. La pression est alors égale à celle d'une colonne d'eau qui aurait pour base la surface du piston, et pour hauteur celle du second tube. Plus le piston est large et le second tube élevé, plus la pression est grande. On fait appuyer contre un obstacle très-résistant ce

piston, et entre lui et l'obstacle on pose les objets à comprimer, qui supportent ainsi un effort très-considérable.

Capillarité. — Lorsque l'on prend un tube d'un très-petit diamètre, à peu près de la grosseur d'un fil, et qu'on le plonge dans des liquides, eau, alcool, acide ou autres, qui mouillent le verre, on voit l'eau s'élever dans le tube, au-dessus du niveau du vase où on a plongé le tube, et se terminer par une surface concave. Si on plonge ce même tube dans un liquide qui n'en mouille pas les parois et qui n'y adhère pas, on voit le liquide rester au-dessous du niveau qu'il a dans le vase extérieur et présenter à la partie supérieure une surface convexe. Ces différentes courbures s'observent déjà dans tous les vases, mais elles sont infiniment plus sensibles dans les tubes de plus en plus étroits. C'est ce qu'on appelle les phénomènes capillaires, qui ont lieu dans des espaces très-resserrés, de la largeur d'un cheveu.

Dès qu'il se trouve entre les molécules des corps des intervalles assez petits pour jouer le rôle de tube capillaire, on observe des résultats analogues. Ainsi, dans les plantes, la sève circule par de petits canaux très-étroits, et monte jusqu'à leur partie supérieure par un phénomène semblable. Il en est de même dans les mèches des lampes, des bougies, où les petits intervalles qui se trouvent entre les fils qui les composent servent de tubes capillaires, qui favorisent l'ascension de l'huile, de la graisse ou de la cire qui doivent brûler. On voit aussi souvent l'humidité se propager

depuis les fondations jusqu'au sommet d'une maison qui reçoit plus ou moins les infiltrations de cours d'eau voisins, par des raisons analogues, dont l'explication se rattache aux phénomènes de la pesanteur.

Emploi du vent. — Le vent n'est plus guère employé comme moteur, depuis que la vapeur l'a remplacé dans la marine comme dans l'industrie, et qu'on a substitué les navires à vapeur et les moulins mécaniques aux vaisseaux à voiles et aux moulins à vent. Ces moulins recevaient leur impulsion du vent soufflant avec une vitesse qui ne devait pas dépasser 7 à 8 mètres par seconde. Quatre grandes ailes ou volants à surface légèrement obliques, ou, comme on dit, à *surface gauche*, recevaient l'action du vent, et devaient tourner sur un pivot, pour pouvoir toujours se présenter verticalement aux souffles aériens, dont la direction varie si fréquemment.

Malgré l'abandon de plus en plus général de ce genre de machines, la force du vent pourrait être plus souvent utilisée qu'elle ne l'est.

Le tableau suivant donne l'indication des vitesses que peuvent prendre en une seconde les différents vents ; nous y avons joint les chiffres qui représentent la vitesse des autres forces physiques, afin qu'on se rende mieux compte des variations qui se présentent sous ce rapport dans la nature :

En une seconde

Un vent calme parcourt....	1 m.
Légère brise.....	2 m.
Petite brise.....	4 m.
Jolie brise, vent des moulins.	7 m.
Un chemin de fer.....	8 m. 04
Bonne brise, vent des navires à voiles.....	44 m.
Train express.....	14 m.
Grand frais, vent fort.....	16 m.
Grand vent.....	22 m.
Coup de vent.....	25 m.
Tempête.....	27 m.
Ouragan.....	36 m.
Ouragan renversant arbres et maisons.....	46 m.
Le son dans l'air à 15°.....	341 m.
La vitesse de la terre à l'Equa- teur (force centrifuge)....	465 m.
Un boulet de 12 kilog. chassé par 6 kilog. de poudre....	500 m.

Le son dans l'eau, 1 kil. 430 mètres.

Le son dans les bois et les métaux,
3 kil. 500 à 5 kil. 600 mètres.

La pesanteur, 7 kil. 900 à 8.000 mètres.

Vitesse de la translation de la terre autour
du soleil, 30 kil. 352 mètres.

Vitesse de la chaleur, 308,000 kilomètres.

Vitesse de la lumière, 308 à 320,000 kilo-
mètres.

Vitesse de l'électricité, 460,000 kilomètres.

Vitesse de la force attractive entre les
corps célestes, 50 millions de fois la vitesse

de la lumière, ou 16 trillions de kil. ou 16 quadrillions de mètres, 16,000,000,000,000,000 de kilomètres.

D'après ces vitesses, pour faire le tour de la terre, un soldat, marchant nuit et jour, au pas de route, emploierait un an et 63 jours.

En chemin de fer, 30 à 40 jours.

Le son dans l'air mettrait 32 heures $1/2$.

Un boulet de canon, 24 heures $3/4$.

La lumière un peu plus de $1/10^e$ de seconde.

L'électricité moins de $1/10^e$ de seconde.

CONCLUSION

Tout est en mouvement dans le monde. — Arrivé au terme de ces pages, résumons en quelques mots ce que nous avons dit.

Nous avons vu la matière se diviser à l'infini, prendre tour à tour toutes les formes et tous les aspects; nous l'avons vue toujours en mouvement et mise en mouvement par une foule de causes. Nous avons vu la lumière, la chaleur, la pesanteur, l'électricité, le magnétisme se transformer les unes dans les autres, se produire mutuellement et nous apparaître tout simplement comme des mouvements en sens divers et doués de vitesses différentes, d'une même matière appelée *éther*, très-subtile et répandue partout.

Il n'y a donc pas autre chose dans le monde physique que nous avons examiné que de la matière tantôt en mouvement, tantôt en repos, tantôt en grande masse, tantôt en atomes infiniment petits, et il n'y a rien autre que les lois qui régissent cette matière.

La matière est indestructible et impénétrable. — En effet, on peut bien changer l'aspect, l'état, les propriétés des corps, mais on ne peut détruire la matière elle-même; on sépare les molécules les unes d'avec les

autres, on divise les corps à l'infini, mais, réunies ou séparées, les parties de matière existent toujours, soit que nous les voyions, soit qu'elles soient invisibles à nos yeux. Rien ne se perd donc dans la nature; le bois que nous avons brûlé, l'eau qui s'est vaporisée, le fer qui s'est volatilisé ont changé d'état, mais ils ne sont pas anéantis; leurs parties les plus ténues subsistent toujours; elles ont toujours subsisté sous une forme ou sous une autre. Telle pierre solide a pu tour à tour être dissoute dans les eaux, volatilisée par le feu central, se combiner à l'oxygène et former une matière terreuse, puis séparée des matières qui s'étaient mêlées avec elles, nous apparaître sous l'aspect d'un métal, passer par nos fourneaux, être volatilisée par eux, et rester en particules très-petites suspendue dans l'air. L'analyse nous montre ainsi que le sodium qui forme la soude, qui est la base du sel marin, forme une grande partie des minéraux terrestres lorsqu'il est combiné au carbone sous forme de carbonate de soude, et qu'il est réuni à d'autres corps; ce sodium volatilisé existe dans l'air, en grandes quantités invisibles, et en particules infiniment ténues, que les analyses les plus délicates de la lumière peuvent seules nous montrer. Eh bien, ce corps, comme tous les autres, s'est transformé, a subi mille et mille modifications, mais jamais la matière qui le compose n'a été détruite, et ne peut l'être. Elle peut se diviser à l'infini, se raréfier considérablement, c'est-à-dire que ses parties peuvent être très-isolées les unes des

autres, très-séparées, comme on croit que cela existe dans les immenses espaces qui séparent les planètes entre elles; mais jamais elles ne peuvent être anéanties.

Mais si *rien ne se perd* et si *tout se transforme*, il faut bien remarquer que cela n'est vrai que de la matière même, c'est-à-dire de l'essence des corps; mais, au contraire, cette matière s'agrége, s'accumule, forme des substances diverses, des amas, qui varient continuellement de qualités, de formes, de poids, et qui sont détruits, reformés, changés et modifiés perpétuellement par une foule de forces et de causes extérieures.

Le sel marin, que nous citions tout à l'heure, est tantôt dissous dans l'eau, et il disparaît à nos yeux; tantôt, par l'évaporation de l'eau, il nous apparaît en cristaux accumulés; quelquefois ces cristaux réunis forment des masses considérables et des grottes de sel gemme; d'autres fois, le sel est décomposé en ses éléments constituants, le chlore (un gaz) et le sodium (un métal); alors ce dernier s'unit à d'autres corps, l'oxygène, le carbone, et forme de nouvelles substances que la chaleur et l'électricité peuvent décomposer et qui peuvent ensuite se prêter à d'autres combinaisons. Eh bien tous ces corps, tous ces agrégats transitoires et multiples ne durent pas, leur *personnalité*, si l'on peut s'exprimer ainsi, reste un instant, puis disparaît lorsque les éléments qui la composaient sont désassociés par l'action des forces extérieures et du milieu nouveau où ils sont transportés. Il uait à leur place de

nouvelles personnes physiques, de nouveaux corps dissemblables aux premiers. A la place d'un liquide, un gaz; à la place d'un gaz, un solide; à la place d'une pierre, deux métaux; puis les circonstances changent encore, et reproduisent les conditions dans lesquelles le premier corps s'était produit; une nouvelle transformation s'opère, et nous revoyons apparaître du sel marin au lieu du carbonate de soude, etc.

Le monde et la matière sont donc dans un état perpétuel de transformation; la matière indestructible s'agrège de mille manières différentes pour former des corps variés; ces corps naissent, sont détruits, se séparent ou se reproduisent par l'action de forces plus ou moins puissantes; mais si leur personnalité éphémère ne dure qu'autant que rien ne la décompose, il est quelque chose de stable qui dure toujours et subsiste éternellement au milieu de toutes ces transformations successives, c'est la matière et les forces qui la mettent en mouvement, et surtout les lois d'après lesquelles ces mouvements s'accomplissent.

Le monde, la terre, les astres tels que nous les voyons, peuvent donc avoir commencé et finir, mais la matière qui les compose ne peut être anéantie, et le néant est un mot vide de sens.

Rien, du reste, dans la nature, ne s'accomplit sans qu'une loi préside à cette action. Il y a des conditions nécessaires, qui sont les conditions mêmes de l'existence de la matière, auxquelles celle-ci ne se peut soustraire. De

même que rien ne peut empêcher deux lignes d'égale longueur d'être égales, rien n'empêchera une balle élastique de rebondir, rien, sinon une autre loi qui viendra modifier celle en vertu de laquelle ces corps accomplissent ces différentes actions. Ainsi, c'est une autre loi qui, en diminuant l'élasticité de la balle, ou en détruisant la résistance du mur, empêchera la première de rebondir.

Mais, tant qu'une loi n'est pas modifiée par une autre loi, elle agit toujours de même, les mêmes effets se reproduisent lorsque les conditions sont identiques, et à des siècles de distance, le sel marin peut être reproduit comme il le fut il y a dix-huit cents ans, en plaçant dans des conditions identiques le chlore et le sodium qui le composent.

Ces lois sont donc également immuables comme la matière qu'elles régissent. Elles peuvent se combiner ensemble, se modifier, et par suite donner naissance à des corps tout à fait différents; elles n'en subsistent pas moins indestructibles aussi et nécessaires.

Nous en dirons autant du mouvement; tout dans la nature est en mouvement, dans une sorte de mouvement perpétuel; ce qui nous paraît en repos est tout au plus en équilibre comme les deux fléaux d'une balance, mais le moindre choc fait renaître le mouvement, et souvent, dans l'intérieur même de ces corps qui nous semblent en repos, il y a des mouvements continuels qui s'exécutent; ainsi un carreau de verre nous semble

bien en repos, et cependant lorsqu'un rayon de lumière frappe à sa surface, il se fait dans son intérieur des mouvements ondulatoires très-nombreux dont les vibrations nous transmettent à nous-mêmes le mouvement lumineux. Un bâton soide de soufre frotté avec de la laine ne cesse pas d'être solide, et cependant, puisqu'il attire les feuilles de papier, il s'est produit dans son intérieur des vibrations électriques assez intenses, et des mouvements que nous ne voyons pas.

Tout dans la nature est ainsi susceptible de prendre du mouvement et de causer du mouvement; mais encore ici aucun mouvement ne se perd; tout mouvement se transmet et se transforme visiblement ou non. Lorsqu'à la porte d'une maison nous tirons le cordon d'une sonnette, nous ne voyons pas le mouvement de la sonnette, et quelquefois nous n'entendons pas le bruit qu'elle fait en vibrant; le mouvement visible de notre bras qui sonne s'est communiqué à la sonnette qui, en vibrant, a fait osciller l'air qui l'entoure, de manière à frapper de ces oscillations l'oreille de nos amis de l'intérieur; eh bien! dans la nature, il se produit sans cesse de ces communications de mouvement qui nous échappent ou que nous n'apercevons qu'après beaucoup d'études. La chaleur se transforme en lumière, nous le voyons, mais elle se transforme aussi en électricité, nous ne le voyons pas toujours; elle fond les corps et les fait vibrer différemment à l'état liquide qu'à l'état solide, nous voyons le résultat, mais nous ne voyons plus sa présence; lors-

qu'elle se répand d'un foyer où elle est concentrée dans l'air où elle est à peu près insensible, nous ne la sentons plus, et cependant elle existe toujours.

Lorsqu'il y a équilibre ou repos, c'est-à-dire lorsque deux forces appliquées au même point se compensent, comme des poids égaux placés dans les deux plateaux d'une balance, les mouvements sont en équilibre, ils ne sont pas détruits. Il suffit d'augmenter ou de diminuer l'un d'eux, comme d'ajouter ou d'ôter un gramme aux poids de la balance, pour détruire l'équilibre, remettre tout en mouvement et faire osciller de nouveau les forces, comme le font les enfants dans le jeu de la bascule, l'un enlevant l'autre par son poids, l'autre abaissant l'un par sa légèreté volontaire ou l'élasticité qu'il donne à ses jambes.

La conclusion que nous devons tirer de cette étude, c'est donc que la matière physique, toujours en mouvement, ou accidentellement en repos ou plutôt en équilibre, est indestructible; que les mouvements qui la modifient, quoiqu'ils puissent se transformer, sont également indestructibles, que les lois qui régissent les uns et les autres, bien qu'elles se modifient réciproquement, sont stables, permanentes et générales, et qu'elles régissent également le mouvement et la vie, la matière inerte comme la matière vivante ou animée, les plantes comme les animaux, l'homme physique comme l'homme moral. Il faut ajouter enfin qu'à ces divers degrés, et avec les différences naturelles qui

découlent de la diversité des conditions d'existence, tous ces êtres si divers, produits d'une seule et unique matière et de mouvements différemment combinés, ne sont que des groupes d'atomes, sans personnalité durable et sans stabilité permanente, dont les éléments, une fois désassociés, pourront continuer d'exister, et même, si les circonstances sont semblables, former de nouveaux êtres identiques, mais des êtres aussi passagers que les premiers, car il n'y a de durable et d'éternel que la matière, le mouvement et les lois qui les régissent.

TABLE DES MATIÈRES

TOME PREMIER.

	Pages.
PHYSIQUE.....	3
Matières. — Corps divers. — Solides, liquides, gazeux.....	5
La matière est impénétrable.....	7
<i>Divisibilité</i>	9
Exemples de divisibilité. — Infiniment petits.....	10
Globules du sang.....	11
Animaux microscopiques.	17
Odeurs, odorat.....	12
Ether, atomes, molécules.....	14
Corps simples et composés.....	15
<i>Composition des corps ; cohésion</i>	16
Ténacité.....	17
Adhérence des solides aux liquides.....	19
<i>Les corps sont poreux</i>	20
Métaux poreux.....	20
Pierres poreuses.....	21
Respiration par la peau.....	22
Conservation des œufs.....	23
Filtres.....	23
Boissons.....	24
<i>Compressibilité</i>	25
Machines de compression.....	26
Gazomètres.....	27

	Pag
Fusil à vent.....	28
Manomètre.....	28
Compression des solides.....	30
Ecoulement des solides.....	31
<i>Elasticité</i>	31
Martelage. — Trempe. — Etirage.....	32
Ductilité. — Malléabilité.....	33
Choc des corps élastiques.....	34
<i>Atmosphère</i>	36
Pression de l'air.....	36
Machine pneumatique.....	37
Effets du vide.....	39
Baromètre.....	40
Pression atmosphérique.....	41
Mesure des hauteurs.....	42
Indication du temps.....	45
Variations régulières de l'air.....	47
Pipette et pression de l'air.....	49
Tête- <i>vin</i>	50
Pompes.....	50
Siphons.....	53
Encriers siphonides. — Encriers-pompes..	54
Réservoirs. — Puits artésiens.....	55
Jets d'eau.....	56
Aération des mines.....	57
<i>Pressions dans les liquides et les gaz. — Ap- plications</i>	58
Corps flottants.....	58
Corps immergés, poids spécifiques.....	58
Insectes marchant sur l'eau.....	59
Flottaison des navires.....	60
Vessies natatoires; ceintures de sauvetage	61
Cloches à plongeur. — Nautilus, scaphan- dres.....	62
Natation.....	64
Vol.....	66
Aérostats.....	67
Aéronefs, appareils plus lourds que l'air	69
<i>Pesanteur</i>	73

	Pages.
Mouvements de la terre. — Force cen- trifuge.....	73
Chute des corps.....	79
Intensité de la pesanteur.....	80
Pendule.....	81
Oscillations du pendule.....	82
Pendule compensateur.....	83
Mesure du temps.....	84
Fil à plomb. — Niveau des mers.....	85
Centre de gravité.....	85
<i>Mouvement</i>	88
Transmission du mouvement.....	89
Mouvement acquis. — Chocs des wagons, — freins.....	91
Art de descendre d'une voiture en mou- vement.....	92
Transmission du mouvement. — Nausées.	93
Mal de mer.....	95
Vitesse acquise. — Moutons.....	95
Force centrifuge. — Terre.....	96
Essoreuses.....	97
Mouvements constants.....	98
Equilibre. — Balances.....	98
Balances diverses.....	100
<i>Acoustique</i>	101
Sons. — Vibrations.....	101
Vibrations de l'air.....	104
Timbre.....	105
Vitesse.....	105
Porte-voix.....	108
Cornet acoustique..	108
Echos.....	108
Résonnance.....	110
Vibrations des cordes. — Instruments....	110
Instruments à vent.....	112
Instruments à anches.....	112
Membranes, tambour.....	113
Voix.....	114
Ouïe.....	116

	Pages.
Ecriture et sténographie des sons.....	117
Musique, gamme, etc.....	120
<i>Chaleur</i>	122
Chaleur du soleil.....	122
Nuages.....	124
Pluie.....	124
Serein.....	126
Brouillards.....	127
Grêle.....	127
Rosée.....	128
Givre.....	130
Neige.....	131
Neige rouge.....	133
Grésil.....	133
Verglas.....	133
Pluies rouges, de sang, etc.....	134
Vents.....	134
Ouragans.....	136
Trombes.....	136
Mer	140
Courants marins.....	141
Chaleur de la terre.....	141
<i>Sources de chaleur</i>	143
Frottement, percussion, compression....	143
Chaleur dégagée par les actions chimi- ques.....	145
Chauffage.....	146
Combustion de la fumée.....	148
Chauffage par l'eau chaude.....	149
— la vapeur.....	150
<i>Qu'est-ce que la chaleur? — Ses effets</i>	150
Vitesse du calorique.....	153
Intensité calorifique.....	154
Equilibre de température.....	154
<i>Mesure de la chaleur</i>	156
Thermomètres-Pyromètres.....	156
Therino-multiplicateur.....	160
La chaleur traverse le vide.....	161

	Pages.
Séparation des rayons lumineux et des rayons de chaleur.....	163
Effets de la chaleur.....	164
Absorption.....	165
Conductibilité et réflexion de la chaleur.	
— Vases, vêtements. Ustensiles.....	166
Rayonnement de la chaleur.....	169
Transmission de la chaleur.....	170
Usages des fourrures.—Doublés fenêtres.	171
Rayons obliques de chaleur.....	172
Absorption de la chaleur par les gaz....	173
Dilatation	173
Fusion.....	175
Froid.....	176
Dilatation par le froid.....	177
Retard de congélation.....	178
Froid par les mélanges.....	178
Mélanges réfrigérants.....	179
Liquéfaction des vapeurs et des gaz....	180
Solidification des gaz.....	181
Vaporisation.....	181
Evaporation.....	181
Alcarazas	182
Ebullition	182
Variation du point d'ébullition et de cuisson.....	182
Marmite de Papin. — Autoclave.....	186
Etat sphéroïdal.— Glace produite dans le feu.....	187
Machines à vapeur.....	188



TOME SECOND.

	Pages.
Machines à double effet.....	3
Explosions.....	5
Machine à basse pression.....	8
Locomotives.....	9
Moteur Lenoir	10
Transformation de la chaleur en mouve- ment et en travail mécanique.....	11
Cheval-vapeur kilogrammètre.....	11
<i>Electricité</i>	12
Développement de l'électricité par le frot- tement.....	12
Corps isolants.....	14
Corps conducteurs et non-conducteurs...	14
Frottement des liquides.....	15
Deux mouvements électriques, positif et négatif.....	16
Electrisation par contact et par influence	19
Electricité statique, dynamique et d'in- duction.....	21
Pouvoir des pointes.....	23
Electricité par pression.....	24
— développée par la chaleur	25
<i>Appareils d'électricité statique</i>	27
Machines électriques.....	27
Bouteille de Leyde.....	28
Batteries électriques.....	29
<i>Appareils d'électricité dynamique</i>	30
Galvanisme. — Pile de Volta.....	30
Electricité due aux actions chimiques...	31
Piles	31
Pile Bunsen.....	33
<i>Applications industrielles</i>	33
Actions chimiques de la pile.....	35
Galvanoplastie.....	36
<i>Appareils d'induction</i>	39

	Pages.
Courants d'induction.....	39
Appareil Rhumkorff.....	40
Electro-aimants à fils nus.....	41
<i>Effets électriques de ces appareils</i>	42
Commotions électriques, lumière, étin- celles.....	42
Œuf électrique.....	43
Eclairage électrique.....	46
Vitesse.....	48
Étincelle d'induction.....	48
<i>Applications industrielles de l'électro-magné- tisme</i>	50
Electro-magnétisme.....	50
Télégraphe électrique.....	51
— de Morse.....	53
— à clavier.....	55
Pantographe Caselli.....	57
Télégraphes sous-marins.....	58
Horloges électriques.....	59
Métier électrique à tisser de Bonelli.....	60
Moteurs électriques.....	61
<i>Electricité dans les êtres vivants</i>	63
Poissons électriques.....	63
Electricité médicale.....	66
— atmosphérique.....	67
— terrestre.....	8
Electricité des plantes.....	69
Paratonnerres. — Foudre. — Eclairs....	71
<i>Magnétisme</i>	79
Aimants.....	79
Magnétisme et électricité terrestre, cou- rants.....	83
Courants.....	83
Boussole.....	84
Déclinaison.....	85
Inclinaison.....	85
<i>Lumière</i>	87
Nature de la lumière.....	87
Décomposition de la lumière.....	89

	Pages.
Couleurs du prisme.....	89
Nombre de vibrations des couleurs.....	90
Inaltérabilité des couleurs.....	91
Recomposition du blanc. — Action chimique des couleurs.....	92
Ondulations obscures.....	93
Photométrie.—Mesure de l'intensité de la lumière.....	95
Contraste des couleurs.....	96
Miroirs. — Réflexions.....	96
Miroirs concaves ou convexes.....	97
Miroirs convexes.....	99
Réflecteurs.....	99
Images renversées.....	100
Réfraction.....	101
Mirage.....	104
Arc-en-ciel.....	105
Halos.....	107
Double réfraction.....	108
Polarisation.....	108
Interférences.....	111
Anneaux colorés.....	112
Couleur de l'air.....	113
Décomposition de la lumière et déviation.....	114
Analyse spectrale.....	116
Métaux du soleil.....	118
<i>Action chimique de la lumière</i>	118
Action de la lumière sur les plantes.....	118
Photographie.....	119
— sur papier.....	122
<i>Vision</i>	125
Ceil, vision.....	125
Estimation des grandeurs.....	129
Persistance des images sur la rétine. — Phénakistoscope.....	130
Cataracte.....	132
Myopie.....	132
Presbytisme.....	133
Double vision.....	134

	Pages.
Stéréoscope	135
<i>Instruments d'optique</i>	137
Loupes, lentilles, verres grossissants....	137
Foyer des lentilles	138
Lunettes.....	140
Longues-vues.....	141
Télescopes.....	141
Microscope solaire	142
Mégascope. — Fantasmagorie.....	143
Chambre obscure.....	144
— claire.....	145
Kaléidoscope	145
Diorama.....	146
Apparition, spectres.....	147
Phares	148
Achromatisme.....	149
Mesure des pressions par la lumière et les couleurs.....	150
Couleurs complémentaires.....	151
Aurores boréales et australes.....	151
APPENDICE.....	154
Applications des forces et des moteurs physiques à la mécanique.....	154
Levier.....	154
Effets dus aux pressions dans tous les sens.....	156
Presse hydraulique.....	157
Capillarité.....	158
Emploi du vent.....	159
CONCLUSION.....	162
Tout est en mouvement dans le monde.	162
La matière est indestructible et impéné- trable	162