

935. Verglas. — Une dernière circonstance peut se présenter, dans la condensation de l'eau atmosphérique: c'est une pluie (eau liquide) tombant à travers une atmosphère au-dessous de 0°, et se continuant quelques heures, en même temps que la gelée persiste au niveau du sol. Dans ce cas, assez rare d'ailleurs, il y a formation de *verglas*: la surface du sol, et de tous les objets exposés à la pluie, se couvre d'une couche *uniforme* de glace transparente et lisse, dont l'épaisseur va en augmentant avec la durée du phénomène.

Cette circonstance anormale se présente à la suite d'une longue période de froid, lorsqu'au vent du nord-est succède le retour du courant équatorial du sud-ouest. Ce courant atteint nos contrées par les hautes régions, en produisant des nuages dont la marche est contraire à celle du vent qui règne au voisinage du sol: il en résulte un trouble momentané dans la distribution de la température suivant la verticale; le dégel commence par en haut.

Or, nous avons dit plus haut (930) que le brouillard ne se congèle dans l'atmosphère qu'à — 20° environ; il suffit donc que les hautes régions de l'atmosphère, réchauffées par le vent du sud-ouest, arrivent à n'être plus qu'à une dizaine de degrés au-dessous de zéro, pour que la pluie puisse y prendre naissance; cette pluie *en surfusion*, tombant sur un sol à 3 ou 4 degrés au-dessous de zéro, s'y congèle, pour la plus grande partie. Une pluie peu abondante peut même se transformer entièrement en verglas. — Le phénomène ne dure généralement que quelques heures; le courant du sud-ouest, en s'abaissant, atteint bientôt le sol et fait remonter le thermomètre au-dessus de zéro: alors le vrai dégel commence (*). — Cette explication du verglas a été donnée par M. Nouel, en 1862.

V. — ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

936. État électrique de l'atmosphère. — Mesure du potentiel en un point de l'air. — Ce n'est pas seulement par les temps orageux que l'atmosphère est le siège de phénomènes électriques. Lorsque, par un temps pur et sec, on place dans l'atmosphère un corps conducteur quelconque, isolé et préalablement à l'état neutre, on peut constater qu'il s'électrise positivement à sa partie inférieure, et négativement à sa partie supérieure.

Pour observer ce phénomène, on peut faire usage de l'électroscope imaginé par de Saussure (fig. 679). Il diffère de l'électroscope à feuilles d'or qui a été décrit (676), en ce que les feuilles d'or sont rempla-

(*) On doit cependant noter le célèbre verglas des 22, 23 et 24 janvier 1879, qui a duré trois jours sans dégel et a causé des dégâts immenses dans les forêts d'une zone s'étendant d'Épernay à Angers.

cées par de petites balles de sureau, suspendues par des fils de platine très fins: la tige est terminée par une longue pointe métallique T.

— L'électroscope étant préalablement à l'état neutre, au potentiel zéro, on l'installe *en plein air*, de telle sorte que la tige s'élève à une certaine hauteur. On observe une divergence croissante des balles de sureau. On détermine la nature de leur charge: elle est généralement positive. Une égale quantité d'électricité négative s'est donc écoulée par la pointe. Ce résultat s'explique, si l'on admet que l'atmosphère constitue un champ électrique dans lequel *les lignes de force seraient verticales et dirigées de haut en bas*, puisque c'est dans ce sens que s'est déplacée l'électricité positive qui charge les balles, après que l'équilibre est établi.

Pour mesurer le potentiel en un point de l'atmosphère, et en observer les variations, la méthode la plus précise consiste à y installer un flacon A rempli d'eau rendue conductrice, et isolé par le support S (fig. 680); un filet d'eau s'écoule d'une manière continue en *a*, et se résout en fines gouttelettes qui tombent isolément. Soit *V* le potentiel de l'air qui environne l'extrémité du filet liquide, au point *a*, et soit *V'* le potentiel de la masse d'eau A;

supposons $V' < V$. La différence $V - V'$ a pour effet de déterminer une force électrique *F*, dirigée normalement à la surface de l'eau qui s'écoule, et vers l'intérieur de l'eau (662); par suite, la densité électrique à la surface de l'eau est $\mu = -\frac{F}{4\pi}$ (654, Rem.). Chaque gouttelette qui s'écoule

entraîne donc avec elle de l'électricité négative; il en résulte un accroissement correspondant de la charge positive du conducteur A, et par suite un accroissement de son potentiel, jusqu'à ce que l'on ait $V' = V$. Quand ce résultat est obtenu, les gouttelettes qui s'écoulent ne sont plus électrisées. — Or l'eau du flacon A est en communication permanente, par le fil *f*, avec un électromètre à quadrants (fig. 459), installé dans un laboratoire. La déviation observée sur l'instrument fait connaître la valeur du potentiel au point *a*. — Quant aux variations du potentiel en ce même point, on peut en obtenir une inscription graphique continue, en faisant tomber sur le miroir de l'électromètre un faisceau lumineux,

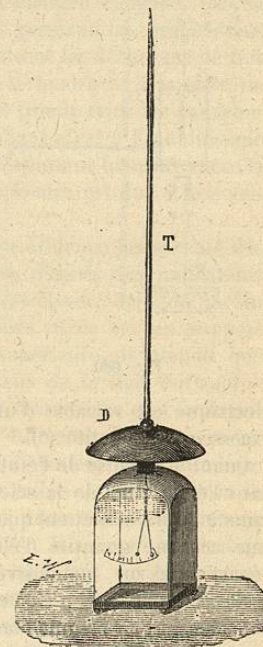


Fig. 679.
Électroscope de Saussure.

dans une direction fixe, et recevant le faisceau réfléchi sur un papier photographique qui se déplace, d'un mouvement uniforme, perpendiculairement au plan décrit par le faisceau réfléchi.

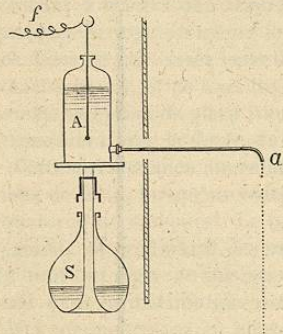


Fig. 680.

En général, lorsque le temps est serein, au-dessus d'une plaine découverte, le potentiel électrique *augmente progressivement à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère*. La variation de potentiel avec la hauteur est d'autant plus grande que le temps est plus pur et plus sec; elle est, en moyenne, de 300 volts par mètre. On en doit conclure que la surface du sol est le plus ordinairement couverte d'une couche d'électricité négative. — En un même point du sol, l'expérience montre que la densité électrique est variable d'un jour à l'autre; mais elle est toujours excessivement petite (*).

Quant à la cause de l'état électrique de l'atmosphère, il est difficile, dans l'état actuel de la science, de l'indiquer avec précision. — Certains auteurs admettent que la Terre a pris, au moment de sa formation une certaine quantité d'électricité négative; cette masse électrique, répartie plus ou moins irrégulièrement à la surface du sol, produirait à elle seule le champ électrique de l'atmosphère. — D'autres auteurs considèrent l'air comme étant, par lui-même, électrisé positivement; la masse électrique serait surtout répartie dans les régions élevées de l'atmosphère. C'est d'ailleurs dans ces régions qu'on observe les *aurores boréales*, particulièrement fréquentes dans les contrées polaires. Ces splendides météores, qui apparaissent sous la forme d'immenses arcs lumineux, dardant des rayons par leur partie inférieure, présentent une couleur pourprée, qui rappelle celle des décharges électriques produites dans l'air très raréfié (707). — Dans cette dernière hypothèse, la couche superficielle du sol, ordinairement négative, serait due à l'influence exercée par la masse positive de l'air.

(*) Soit v la variation du potentiel par centimètre, dans le voisinage du sol; v étant évalué en unités électrostatiques, la force électrique F , dirigée de haut en bas, serait, dans le voisinage du sol, $F = \frac{v}{1}$; par suite, d'après le théorème de Coulomb, la densité électrique de la surface du sol serait $\mu = \frac{-F}{4\pi} = -\frac{v}{4\pi}$. La tension électrostatique serait $2\pi\mu^2 = \frac{v^2}{8\pi}$. — Si l'on prend $v = 0.01$ (c'est-à-dire trois volts par centimètre, ou 300 volts par mètre), la tension électrostatique serait environ 40 millièmes de dyne par centimètre carré.

937. **Expériences anciennes, vérifiant l'identité entre les phénomènes de la foudre et ceux de l'électricité.** — L'étincelle électrique qui jaillit d'une machine fortement chargée rappelle, par sa forme sinueuse, les éclairs qui apparaissent pendant les orages. Les effets mécaniques ou calorifiques, que produisent les décharges de nos batteries, rappellent aussi ceux que produit la foudre à la surface de la terre. Ce sont là des rapprochements qui furent faits dès la découverte des phénomènes électriques. — Cependant c'est à Franklin que revient la gloire d'avoir démontré qu'il y a réellement identité entre la foudre et les décharges électriques, et que la foudre est due à l'électricité dont sont chargés les nuages.

Les premières expériences, pour mettre en évidence l'électricité des nuages, furent faites en France par Dalibard, d'après des indications données par Franklin. — En 1752, Dalibard fit élever, dans un jardin de Marly-la-Ville, une tige de fer de 40 pieds, fixée sur un support isolant et terminée en pointe à sa partie supérieure. Il attendit que des nuages orageux vinssent à passer au-dessus de la tige. En approchant alors, de la partie inférieure, un fil de cuivre mis en communication avec le sol, il obtint une succession d'étincelles, d'une longueur remarquable. — Pour comprendre ce qui s'était produit, il suffit de se reporter à ce que nous avons vu, sur la manière dont s'électrise le conducteur d'une machine électrique (680). Admettons que le nuage fût chargé, par exemple, d'électricité positive: il agissait, sur la tige isolée, comme le plateau de la machine électrique agit sur le conducteur, c'est-à-dire que, sous l'influence du nuage, l'électricité négative attirée s'écoulait par la pointe; l'électricité positive était repoussée à la partie inférieure de la tige, qui pouvait ainsi fournir des étincelles à l'approche d'un corps communiquant avec le sol.

Un mois plus tard, Franklin fit lui-même, dans la plaine de Philadelphie, une autre expérience qui conduisit aux mêmes résultats. — Un cerf-volant, muni d'une pointe métallique, fut lancé dans la direction d'un nuage orageux: la corde se terminait, à sa partie inférieure, par un cordon de soie isolant. La corde de chanvre étant peu conductrice, on n'obtint d'abord que des traces douteuses d'électricité; mais, une pluie fine étant venue rendre le chanvre conducteur, Franklin put tirer de la corde des étincelles de plusieurs pouces; il put allumer de l'alcool, charger des bouteilles de Leyde, etc.

Enfin, l'année suivante, de Romas, magistrat de la petite ville de Nérac, fit encore usage d'un cerf-volant, mais il eut soin d'ajouter un fil de cuivre à la corde de chanvre, dans toute sa longueur; l'extrémité inférieure de ce fil aboutissait à un cylindre métallique, supporté par des cordons de soie. — A l'approche des nuages orageux, on présenta à ce cylindre un autre cylindre métallique, que l'on tenait par un long tube de verre, et qui était mis en communication avec le sol.

Des étincelles éclatèrent entre les deux cylindres; au plus fort de l'orage, elles prirent la forme de lames de feu, de 10 pieds de long, produisant un bruit qui s'entendait à une distance considérable. Des débris de paille, qui se trouvaient sur le sol, s'élançaient vers la corde, avec un crépitement continu. — Cette expérience se termina par un coup de tonnerre formidable : la foudre était tombée à une petite distance (*).

938. Nuages positifs et nuages négatifs. — On sait aujourd'hui que les nuages sont chargés tantôt d'électricité positive, tantôt d'électricité négative. — Il suffit, pour s'en rendre compte, d'avoir égard aux conditions diverses dans lesquelles se forment les nuages, au milieu d'une atmosphère dans laquelle le potentiel positif va progressivement en croissant à mesure qu'on s'élève (936).

En effet, un nuage, formé par la condensation de la vapeur d'eau dans l'air, peut être considéré comme une masse semi-conductrice, se substituant à la masse gazeuse non conductrice. Il doit, dès lors, s'électriser *par influence*, sous l'action du champ électrique dans lequel il se trouve. Cette action d'influence développera de l'électricité négative sur sa face supérieure, et une quantité égale d'électricité positive sur sa face inférieure : si la partie inférieure du nuage vient à se résoudre en pluie, ou si elle arrive momentanément en contact avec le flanc d'une montagne, il y aura déperdition d'électricité positive, en sorte que, une fois cette cause de déperdition supprimée, le nuage restera chargé d'une quantité prédominante d'électricité *negative*. — Si le nuage électrisé par influence, négativement à sa partie supérieure, positivement à sa partie inférieure, vient à se rompre par son milieu, il en résultera deux nuages, l'un chargé *negativement*, l'autre chargé *positivement*. — Enfin un nuage, chargé d'électricité positive ou négative, peut donner, par influence, une charge de signe contraire à tout autre nuage préalablement à l'état neutre, et qui sera momentanément en communication avec le sol.

Cette formation de nuages, tantôt *positifs*, tantôt *negatifs*, suffit pour expliquer tous les phénomènes produits pendant les orages.

939. Foudre. — On comprend que, si deux nuages chargés d'électricités contraires se rapprochent suffisamment l'un de l'autre, il éclate entre eux une décharge, résultant de la combinaison de ces deux électricités. — De même, si un nuage fortement électrisé se rapproche de la terre, il attire à la surface du sol l'électricité contraire à la sienne, et peut déterminer une décharge qui éclate entre lui et le sol.

La *foudre* n'est autre chose que la décharge puissante, qui se produit dans l'une ou l'autre de ces deux circonstances. — L'*éclair* est le

(*) On comprend tout le danger que présentent ces expériences. Le 6 août 1753, Richmann, membre de l'Académie de Saint-Petersbourg, en renouvelant des essais du même genre, s'approcha par mégarde du conducteur électrisé : la décharge l'atteignit au front, et la mort fut instantanée.

phénomène lumineux qui accompagne la décharge. — Le *tonnerre* est le bruit de la décharge elle-même.

Nous allons étudier successivement les principales particularités que présentent ces phénomènes.

940. Éclairs. — La lueur de l'éclair, plus vive que celle des étincelles électriques artificielles, est *instantanée*. Quelle que soit la précision des méthodes employées, on n'a pu encore lui assigner aucune durée appréciable. — Quant à l'aspect du sillon lumineux, il rappelle ces étincelles en zigzags (*fig. 494*) que donnent les machines électriques fortement chargées, quand on éloigne autant que possible les surfaces entre lesquelles éclate la décharge.

La longueur de l'éclair peut parfois être très grande : les évaluations les moins exagérées portent à lui donner, dans certains cas, jusqu'à 12 ou 15 kilomètres. Pour comprendre comment l'éclair peut acquérir une pareille longueur, il faut se reporter aux conditions dans lesquelles il se produit. — L'intervalle compris entre les nuages orageux est généralement occupé par un brouillard plus ou moins épais, formé de gouttelettes d'eau flottant dans l'air. C'est dans ce milieu que se produit la décharge : on conçoit donc qu'elle puisse franchir une distance considérable, en passant d'une gouttelette à une autre, comme les décharges de nos machines franchissent la série des losanges métalliques de nos tubes étincelants (*fig. 491*). — De même, lorsque la foudre éclate entre les nuages et le sol, elle ne franchit ordinairement une aussi grande distance que grâce à la communication momentanée qui lui est offerte par la chute de l'averse orageuse.

On distingue les éclairs, au point de vue de leur éclat, en deux classes. — Les *éclairs de première classe* forment un sillon éblouissant, en général blanc ou bleuâtre, et nettement arrêté sur les bords : ils éclairent d'une lueur vive la voûte du ciel et les objets placés à la surface de la terre. — Les *éclairs de seconde classe* consistent en des lueurs diffuses, qui n'éclairent généralement qu'une partie du ciel. Ces lueurs sont produites, dans la plupart des cas, par des éclairs dont nous n'apercevons pas directement la lumière, soit qu'elle nous soit masquée par les nuages eux-mêmes, soit qu'elle se produise dans une région du ciel située au-dessous de notre horizon.

Enfin, on a désigné sous le nom de *foudre globulaire*, ou de *tonnerre en boule*, un phénomène bizarre, qui semblerait n'avoir aucune analogie avec les phénomènes électriques connus. Certains observateurs affirment avoir vu, pendant les orages, des espèces de globes lumineux se promener lentement à la surface du sol, et disparaître subitement, tantôt avec explosion, tantôt sans bruit. — Il est difficile de ne point accueillir avec quelque défiance des récits de cette nature, surtout quand ils sont faits par des personnes dont l'instruction scientifique n'est pas suffisante pour les mettre en garde contre les illusions possibles. L'expé-

rience montre en effet que, en général, une lumière vive, apparaissant au milieu de l'obscurité, peut faire éprouver à notre œil un éblouissement, se traduisant par une sorte de tache lumineuse que nous croyons apercevoir ensuite sur les divers objets où se portent nos regards : cette impression ne disparaît qu'au bout de quelques secondes. Or, il peut se faire que l'apparition d'un éclair vif produise, sur l'œil d'un observateur, une illusion de cette espèce; et alors la disparition de cette illusion pourra évidemment coïncider, soit avec l'un des instants où le tonnerre éclatera de nouveau, soit avec un moment où l'on ne percevra aucun bruit. — Quoi qu'il en soit, il paraît prudent d'attendre, avant de se prononcer sur la réalité de la foudre globulaire, que le phénomène ait pu être observé dans des conditions qui permettent de l'analyser avec certitude.

941. Tonnerre. — Le bruit du tonnerre ne nous arrive jamais que *quelque temps après la lumière de l'éclair*. — Cet effet est dû à la différence entre la vitesse de propagation de la lumière et la vitesse de propagation du son. La lumière se propage avec une vitesse de plus de 300 000 kilomètres par seconde : la lumière de l'éclair parcourt donc les quelques kilomètres qui nous séparent des nuages, en un temps tout à fait inappréciable. Le son se propage avec une vitesse qui est seulement d'environ 340 mètres par seconde : il met donc environ 3 secondes pour parcourir 1 kilomètre; dès lors, le bruit de la décharge électrique peut mettre plusieurs secondes pour nous parvenir. — Pendant un orage, si nous entendons les coups de tonnerre succéder de plus en plus rapidement aux éclairs, nous pouvons en conclure que l'orage se rapproche de nous; au contraire, si ces intervalles de temps vont en augmentant, c'est que l'orage s'éloigne.

Le roulement qui accompagne souvent les coups de tonnerre s'explique encore par des considérations du même genre. En effet, si *une même décharge* éclate à la fois entre plusieurs nuages placés à la suite les uns des autres, il se produit, dans l'atmosphère, autant de détonations, *à un même instant*. Mais nous percevons d'abord le bruit qui s'est produit dans le point le plus rapproché de nous; nous percevons ensuite, successivement, les bruits qui se sont produits en des points de plus en plus éloignés. — A cette cause s'ajoutent aussi, parfois, les échos formés par les objets qui nous entourent.

942. Effets produits par la foudre, à la surface de la terre. — Lorsque la décharge éclate entre un nuage et la terre, on dit généralement que *la foudre tombe*. Elle frappe de préférence les points qui forment des saillies à la surface du sol, parce que c'est surtout en ces points que s'accumule l'électricité attirée par l'influence des nuages. Les sommets des montagnes, les clochers, les arbres, sont les points qui sont le plus souvent atteints. Aussi, n'est-ce jamais dans leur voisinage qu'on doit chercher un abri pendant les orages.

Les effets produits par la foudre sont semblables à ceux que nous pouvons produire avec nos appareils; ils ne s'en distinguent que par leur intensité. — Comme *effets mécaniques*, on cite des coups de foudre enlevant les toitures des bâtiments, ou arrachant les pierres; traversant des plaques de verre, ou déchirant en filaments le tronc des arbres. — Comme *effets calorifiques*, on voit la foudre mettre le feu à des meules de paille, ou à des amas de matières combustibles; fondre ou volatiliser des corps conducteurs, comme les fils des sonnettes ou les dorures des appartements, etc. (*).

Les commotions déterminées, chez l'homme ou les animaux, par les décharges de la foudre, peuvent occasionner les désordres les plus graves, et parfois amener instantanément la mort. — Les traces que laisse alors la décharge sont très variables : tantôt elle détermine des brûlures ou des blessures profondes; tantôt elle ne produit aucune lésion extérieure, mais on observe une congestion au cerveau et un épanchement du sang hors des vaisseaux.

Enfin, il est des circonstances où la décharge d'un nuage peut devenir mortelle pour des animaux que la foudre n'a pas directement frappés. — Supposons qu'un nuage d'une assez grande étendue, et chargé, par exemple, d'électricité positive, décompose par influence l'électricité neutre des corps qui sont à la surface de la terre : il attire l'électricité négative à la partie supérieure de chacun de ces corps, et repousse l'électricité positive dans le sol. S'il arrive que le nuage se décharge tout à coup *sur un autre point du sol*, il s'opère, dans tous les corps influencés, une recombinaison subite des électricités contraires : l'expérience a montré que la commotion produite sur les animaux, dans des circonstances de ce genre, peut être assez violente pour déterminer instantanément la mort. — C'est le phénomène qui a été désigné sous le nom de *choc en retour*.

943. Paratonnerres. — C'est encore à Franklin qu'est due l'inven-

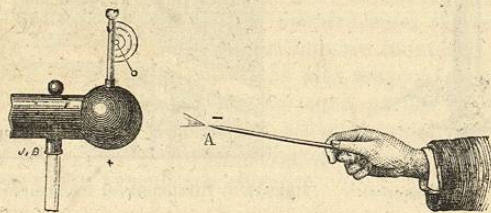


Fig. 681. — Expérience imitant l'effet produit par un paratonnerre.

tion des *paratonnerres*, qui servent à préserver nos édifices de la foudre. Voici une expérience qui permet de comprendre le rôle d'un paraton-

(*) En traversant les couches de sable quartzéux qui forment le sol de certaines con-

nerre, pendant un orage. — Prenons à la main une tige métallique, terminée en pointe, et approchons-la d'une machine électrique en activité (fig. 681). Il ne jaillit aucune étincelle entre la machine et la tige : l'électricité négative, attirée par la machine, s'écoule immédiatement par la pointe, et se combine sans bruit avec l'électricité positive de la machine. Le corps de l'opérateur, armé de cette pointe, ne peut donc déterminer aucune décharge brusque, ni éprouver aucune commotion. — C'est ce pouvoir des pointes qui a conduit Franklin à l'emploi des paratonnerres.

Un paratonnerre, tel qu'on le construit le plus ordinairement aujourd'hui, se compose d'une longue tige de fer, terminée en pointe à sa partie supérieure. Pour éviter l'oxydation de la pointe, l'Académie des sciences, dans une *Instruction* publiée en 1825, avait d'abord prescrit de terminer la tige de fer par une baguette de cuivre *d*, et d'y souder une pointe de platine P (fig. 682). Les modifications apportées à ces

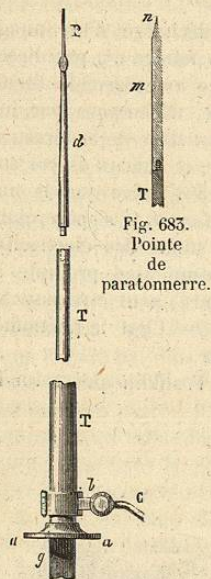


Fig. 682. — Paratonnerre.

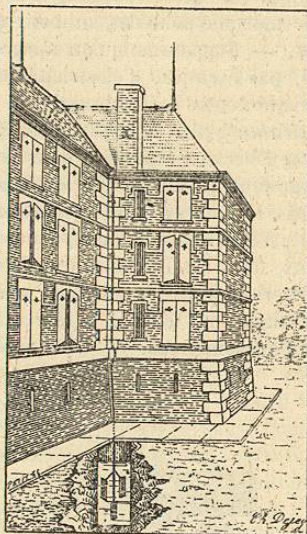


Fig. 684. — Paratonnerres avec leurs conducteurs.

premières indications, en 1854, prescrivent simplement de terminer en pointe la tige de cuivre *mn* (fig. 685), et de la dorer à sa surface. — La partie inférieure du paratonnerre s'engage, par un prolongement *g*

trées, la foudre détermine la fusion du sable, et forme, avec les grains agglutinés, des espèces de tubes auxquels on donne le nom de *fulgurites*.

(fig. 682), dans la toiture du bâtiment; elle est mise en communication avec le sol par une tringle de fer *C*, réunie à la tige elle-même par un collier métallique *b*. Cette tringle de fer est le *conducteur* du paratonnerre, qui descend le long du toit et des murs de l'édifice, et vient se rendre dans le sol (fig. 684). Ce conducteur est mis en communication, le long de son trajet, avec toutes les pièces métalliques un peu volumineuses de l'édifice, afin que l'électricité, sollicitée dans ces pièces par l'influence des nuages, puisse se rendre dans la tige et s'écouler par la pointe. — Si l'édifice porte plusieurs paratonnerres, ils sont également mis en communication entre eux par des tiges métalliques.

Enfin, pour établir une communication aussi parfaite que possible entre l'extrémité inférieure du conducteur et le sol, on fait ordinairement plonger cette extrémité dans un puits où elle se ramifie en plusieurs branches, terminées par des plaques de tôle plongeant dans l'eau, comme le montre la figure. L'électricité repoussée par les nuages se perd ainsi rapidement par la nappe d'eau souterraine qui alimente le puits. Cette communication du conducteur avec le sol est la partie la plus importante de l'établissement du paratonnerre, et c'est aussi celle qui a été longtemps le plus mal comprise : la braise de boulanger, dont on enveloppe quelquefois les ramifications des conducteurs, est tout à fait insuffisante; il est *indispensable* que la communication ait lieu avec une vaste nappe d'eau (*). — On ne doit jamais se contenter de faire rendre l'extrémité du conducteur dans une citerne, à parois imperméables. Un paratonnerre installé dans de semblables conditions serait plutôt dangereux qu'utile.

Quand un édifice est muni de paratonnerres, dans de bonnes conditions et en nombre suffisant (**), il est rare qu'il soit frappé de la foudre : l'écoulement de l'électricité attirée vers la pointe de chaque paratonnerre se manifeste par une aigrette lumineuse, visible dans l'obscurité. — Quelquefois cependant, par un fort orage, cet écoulement ne pouvant pas se faire d'une manière assez rapide, la foudre éclate; mais elle frappe alors le paratonnerre lui-même, qui est la partie la plus saillante de l'édifice. Le plus souvent, dans ce cas, la pointe du paratonnerre est fondue : certaines parties du conducteur sont aussi parfois détériorées. On en est quitte alors pour une réparation; mais cette réparation est indispensable pour que le paratonnerre conserve dans l'avenir son efficacité.

(*) M. Nouël a conseillé, en 1874, d'établir aussi une communication entre la tige du paratonnerre et les gouttières, qui constituent, avec leurs descentes, au moment des orages, une excellente communication avec le sol : la pluie qui s'échappe des tuyaux, et qui va rejoindre la nappe d'eau superficielle, transforme momentanément le sol en un conducteur à surface immense.

(**) On admet généralement qu'un paratonnerre préserve de la foudre les objets compris dans un cercle dont le rayon est double de la hauteur de la tige.

944. Paratonnerres Melsens. — On doit à M. Melsens, de Bruxelles, la construction d'un système de paratonnerres assez différent de celui de Franklin : il paraît présenter le double avantage d'être moins coûteux, et d'avoir une efficacité plus certaine.

Ce système de paratonnerres est fondé sur ce principe, établi par Faraday, que si un corps quelconque est placé à l'intérieur d'une sorte de cage, formée par un réseau de fils métalliques communiquant avec le sol, ce corps ne peut éprouver, de la part des corps électrisés, placés à l'extérieur de la cage, aucune action d'influence (647 Rem.) (*).

On installe, sur les toits et sur tout le contour de l'édifice, des conducteurs métalliques dont la section peut être beaucoup moindre que celle des conducteurs de paratonnerres ordinaires, mais qui doivent être beaucoup plus multipliés, et reliés entre eux de manière à envelopper l'édifice d'un réseau, qui n'en altère d'ailleurs nullement l'effet architectural. Ces conducteurs sont mis en communication avec le sol, par un grand nombre de points, au moyen de puits. Aux principaux points d'intersection des conducteurs, et particulièrement sur le faite de l'édifice, sont placées des gerbes formées par de petites tiges de cuivre, terminées en pointes, par lesquelles se produit l'écoulement de l'électricité.

VI. — VARIATIONS DU MAGNÉTISME TERRESTRE.

945. Variations de la déclinaison et de l'inclinaison, en un même lieu. — La *déclinaison*, en chaque point du globe, est soumise à des variations, dont les unes sont assujetties à une périodicité qui leur a fait donner le nom de *variations régulières*; les autres sont des *variations irrégulières*, ou *accidentelles*.

Pendant l'intervalle d'une même journée, on voit, dans nos climats, l'extrémité australe de l'aiguille de déclinaison marcher de quelques minutes vers l'ouest pendant la matinée, et jusqu'à l'heure du maximum de température; elle revient ensuite sur elle-même, à l'heure où la température s'abaisse, pour reprendre une marche semblable le jour suivant, et ainsi de suite. Ces écarts réguliers, auxquels on donne le nom de *variations diurnes*, sont cependant plus grands pendant la saison chaude que pendant l'hiver. — Dans les observations météorologiques, on peut obtenir, par la photographie, une inscription graphique continue de ces variations, en installant un miroir sur l'axe de rotation de l'aiguille, et procédant comme nous l'avons indiqué pour l'étude des variations du potentiel de l'air (936).

(*) On peut, par exemple, placer un oiseau dans une cage ordinaire, à treillage de fils de fer, en communication avec le sol, et constater que les décharges d'une machine électrique, ou même celles d'une batterie, en éclatant sur la cage, ne font éprouver à l'oiseau aucune commotion.

Si maintenant on évalue, en un lieu déterminé, la déclinaison *moyenne* de l'année, et si l'on compare entre elles les moyennes de plusieurs années successives, on constate une variation qui a reçu le nom de *variation séculaire*. Les observations faites à Paris, depuis l'année 1580, ont conduit aux résultats suivants. — En 1580, la déclinaison était orientale et égale à $11^{\circ} 30'$; elle a été en diminuant jusqu'en 1663, où elle est devenue nulle, puis occidentale, et l'aiguille a continué à marcher dans le même sens jusqu'en 1814. En 1814, la déclinaison occidentale a atteint un maximum, égal à $22^{\circ} 35'$, et elle a ensuite commencé à décroître. — En 1892, la déclinaison moyenne, toujours occidentale, était de $15^{\circ} 30' 7''$; elle décroît actuellement d'environ $74''$ par an : si cette loi se continue, la déclinaison à Paris deviendra nulle vers le milieu du siècle prochain; puis elle redeviendra orientale, et ainsi de suite.

Pour l'*inclinaison*, les observations remontent à une époque moins reculée. En 1671, époque postérieure à celle du maximum de déclinaison, l'inclinaison à Paris était d'environ 75° ; elle a été en décroissant depuis cette époque; sa valeur en 1892 était de $65^{\circ} 9'$, c'est-à-dire que, dans un intervalle de plus de deux cents ans, elle n'a diminué que d'environ 10° . — Par conséquent, tout ce qu'on peut dire jusqu'ici, c'est que les variations de l'inclinaison ont été beaucoup plus lentes que celles de la déclinaison. Mais il n'est pas impossible que ces deux éléments du magnétisme terrestre soient soumis à une période d'oscillation *de même durée*; c'est une question sur laquelle il ne sera possible de se prononcer, qu'aux époques où ces deux quantités repasseront par des maxima.

Enfin, on donne le nom de *variations accidentelles*, ou *orages magnétiques*, à de véritables perturbations, survenant brusquement dans les mouvements de l'aiguille aimantée, et ne durant en général que quelques heures. — Arago a remarqué qu'elles coïncident généralement avec l'apparition d'aurores boréales, soit en des points voisins, soit en des points éloignés. — Des observations suivies, faites dans les observatoires des colonies anglaises, qui couvrent la surface du globe, ont montré que ces orages apparaissent simultanément, avec des intensités diverses, en un grand nombre de points : la cause qui les produit ne peut donc résider que dans des phénomènes s'accomplissant à une grande distance de la surface du globe.

946. Variations de la déclinaison et de l'inclinaison magnétiques, à la surface du globe. — Puisque la déclinaison et l'inclinaison n'éprouvent, en un même lieu, pendant le cours d'une année, que des variations de quelques minutes, on comprend que l'on puisse exprimer, par des tables numériques ou par des cartes, l'état magnétique du globe à une époque déterminée. — Voici quelques résultats généraux, se rapportant à l'époque actuelle.

Déclinaison. — La déclinaison varie beaucoup d'un point à l'autre du globe. Elle est occidentale en Europe; elle est orientale dans la Chine et au Japon; les différences peuvent s'élever, sur un même parallèle, à un grand nombre de degrés.

On comprend quelle importance offre, pour la navigation ou pour la géodésie, la connaissance exacte de la déclinaison en chaque point du globe et à chaque instant. On trouve, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, d'une part, une table des déclinaisons et des autres éléments du magnétisme terrestre dans tous les chefs-lieux de départements de la France et dans quelques villes des pays voisins, pour le 1^{er} janvier de l'année courante; d'autre part, une carte de France sur laquelle sont figurées les *lignes d'égale déclinaison*, ou *lignes isogones*, tracées de degré en degré, et joignant entre eux les points pour lesquels la déclinaison a présenté une même valeur, au 1^{er} janvier.

Quant à la forme des lignes isogones, elle présente des irrégularités singulières, qu'on ne peut déterminer avec précision qu'en multipliant les observations directes, en des points de plus en plus rapprochés. — C'est ainsi que, pour la France, les recherches effectuées depuis quelques années par M. Th. Moureaux, sous la direction de M. Mascart, ont montré que la ligne isogone de 16°, au lieu de conserver sensiblement la direction nord-sud, rebrousse brusquement vers le nord-ouest, en forme de dent de scie, entre le quarante-huitième et le quarante-neuvième parallèle, jusqu'à Évreux, pour redescendre ensuite vers le sud, par Vendôme; les lignes isogones voisines affectent, autour de cette région, des formes plus ou moins semblables. — De pareilles anomalies, probablement attribuables à la constitution particulière du sol, se retrouvent sans doute dans bien d'autres régions du globe, où des recherches semblables n'ont pas encore pu être effectuées.

Inclinaison. — Les lignes d'égale inclinaison, ou lignes *isoclines*, donnent lieu à des remarques semblables à celles que nous venons de faire sur les lignes d'égale déclinaison.

Quant aux variations de l'inclinaison, considérées dans leur ensemble, à la surface du globe, elles peuvent se résumer comme il suit. — Supposons qu'en partant de nos latitudes, on se déplace en suivant un méridien; à mesure que l'on remonte vers le nord, l'inclinaison, qui était d'environ 65° à Paris, va en augmentant, le pôle austral de l'aiguille étant toujours au-dessous de l'horizon. On a même découvert, dans les régions arctiques, un point où l'aiguille se tient *verticale*, c'est-à-dire où l'inclinaison est de 90°. Ce point, situé au nord de l'Amérique et à 15 degrés du pôle, se nomme le *pôle magnétique boréal de la Terre* (*). — Si, partant de là, on redescend vers l'équateur, l'inclinaison

(*) En ce point, la déclinaison est indéterminée, puisque, les forces du couple terrestre étant verticales, elles ne peuvent donner aucune orientation à une aiguille mobile dans un plan horizontal.

son va toujours en diminuant; dans le voisinage de l'équateur, on trouve un point où l'aiguille devient *horizontale*, c'est-à-dire où l'inclinaison est nulle. Ce point appartient à l'*équateur magnétique* du globe. — Si l'on continue à marcher vers le pôle austral de la Terre, c'est le pôle boréal de l'aiguille qui s'incline au-dessous de l'horizon, et l'inclinaison va en augmentant jusqu'à 90°, en un point situé à 18 degrés environ du pôle antarctique : c'est le *pôle magnétique austral* de la Terre.

Il en est de même, au moins d'une manière générale, sur tous les méridiens. — La ligne qui réunit les points sans inclinaison s'appelle l'*équateur magnétique*; c'est une ligne assez irrégulière, mais s'écartant peu d'un grand cercle qui coupe l'équateur géographique en deux points situés à peu près aux extrémités d'un diamètre. L'équateur magnétique se déplace d'ailleurs progressivement, par les variations séculaires de l'inclinaison (*).

VII. — MÉTÉORES LUMINEUX.

947. *Arc-en-ciel.* — Lorsque le soleil est peu élevé au-dessus de l'horizon, et qu'en face de lui se trouve un nuage se résolvant en pluie, un spectateur, placé de manière à tourner le dos au soleil et à regarder le nuage, voit se produire un *arc-en-ciel*, c'est-à-dire un arc circulaire d'une certaine largeur, coloré des couleurs du spectre : le violet occupe le bord *interne* de cet arc; le rouge, le bord *externe*. — Quelquefois, un deuxième arc-en-ciel enveloppe le premier; les couleurs, moins brillantes, y sont disposées *dans un ordre inverse*.

Le phénomène de l'arc-en-ciel est dû à la décomposition des rayons solaires dans l'intérieur des gouttes de pluie. L'explication en a été donnée par Newton : nous en indiquerons sommairement les principes.

Lorsqu'un rayon de *lumière simple* RI (fig. 685 ou 686), un rayon rouge par exemple, rencontre en I la surface d'une goutte d'eau, il se divise en deux portions, dont l'une est réfléchiée, et dont l'autre pénètre dans la goutte en se réfractant suivant IA; celle-ci peut subir soit une, soit deux, soit un plus grand nombre de réflexions intérieures, avant d'émerger suivant IR'; la figure 685 représente le cas d'une seule réflexion intérieure; la figure 686, le cas de deux réflexions.

Considérons d'abord le cas d'une seule réflexion. — Soit un deuxième rayon *ri* (fig. 685), parallèle à RI et de même réfrangibilité, qui rencontre la surface de la sphère en un point *i* voisin de I : les angles d'incidence de ces deux rayons étant différents, il est aisé de voir qu'ils s'écartent de plus en plus l'un de l'autre, pendant leur trajet à l'intérieur de la sphère; à l'émer-

(*) L'hypothèse de l'*aimant terrestre* rend compte des diverses valeurs que présente l'inclinaison sur un même méridien. Il suffit, en effet, de disposer un aimant un peu intense dans une position fixe, et de faire parcourir à une boussole d'inclinaison une demi-circonférence, décrite sur une droite ayant la direction même de cet aimant, pour voir l'aiguille de cette boussole prendre successivement, par rapport à l'aimant, les diverses positions que nous venons d'indiquer par rapport à la ligne des pôles de la Terre. — Mais, d'autre part, les variations séculaires du magnétisme terrestre conduiraient à regarder l'aimant terrestre comme éprouvant des changements progressifs de direction, et aussi de moment magnétique.