

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'expérience montre en effet que, en général, une lumière 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 très vif produise, sur l'œil d'un observateur, une illusion de cette espèce; et, dans ce cas, cette illusion peut ensuite s'évanouir, soit au moment où le tonnerre éclate, soit au moment où l'on ne perçoit 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.

894. **Tonnerre.** — Le bruit du tonnerre ne nous arrive jamais que *quelque temps après la lumière de l'éclair*. — Cela tient à deux causes générales, qu'il nous suffira de rappeler : 1° 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; 2° le son se propage avec une vitesse qui est seulement d'environ 340 mètres par seconde : cela revient à dire qu'il met environ 3 secondes pour parcourir 1 kilomètre : dès lors, le bruit de la décharge électrique peut mettre plusieurs secondes pour parvenir à notre oreille. — 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 notre oreille perçoit d'abord le bruit qui s'est produit dans le point le plus rapproché de nous; elle perçoit 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.

895. **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, et déterminer des incendies; fondre ou volatiliser des corps conducteurs, comme les fils des sonnettes ou les dorures des appartements, etc. (\*).

Les commotions déterminées chez 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 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 vers 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*.

896. **Paratonnerres.** — C'est encore à Franklin qu'est due l'invention des *paratonnerres*, qui servent à préserver nos édifices de la foudre.

Voici une expérience qui permet de comprendre le rôle d'un paratonnerre, pendant un orage. — Prenons à la main une tige métallique, terminée en pointe, et approchons-la d'une machine électrique en activité (*fig. 717*): 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.

(\*) En traversant les couches de sable quartzeux qui forment le sol de certaines contrées, la foudre détermine la fusion du sable, et forme, avec les grains agglutinés, des espèces de tubes auxquels on donne le nom de *fulgurites*.

— C'est ce pouvoir des pointes qui a conduit Franklin à l'emploi des paratonnerres.



Fig. 717. — Expérience imitant l'effet produit par un paratonnerre.

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. 718). Les modifications apportées à ces premières indications, en 1854, prescrivent simplement de terminer en pointe la tige de cuivre *mn* (fig. 719), et de la dorer à sa surface. — La partie inférieure du paratonnerre s'engage, par un prolongement *g* (fig. 718); 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. 720). Ce conducteur communique, 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.

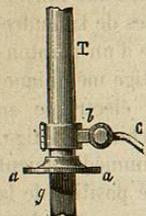


Fig. 718.  
Paratonnerre.

Enfin, il est indispensable d'établir une *parfaite communication* entre l'extrémité du conducteur et une masse conductrice présentant sous terre une étendue considérable. C'est ordinairement dans un puits, ou dans une nappe d'eau un peu vaste, qu'on fait rendre cette extrémité : l'électricité peut alors pénétrer dans le sol humide, par

les canaux qui communiquent avec la masse d'eau où plonge le conducteur. — La communication avec le sol est, suivant Pouillet, la partie la plus importante de l'établissement du paratonnerre, et souvent la 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. Les puits et les sources qui ne tarissent pas sont des nappes suffisantes : les citernes, dont les parois sont imperméables à l'eau, ne le sont jamais. — Enfin, comme il est important que la surface de communication du conducteur avec l'eau soit assez large, il est bon de l'agrandir en contournant le fer en hélice, ou en y clouant des manchons de tôle. Il faut, en outre, se réserver la possibilité de visiter de temps en temps ces parties plongées, à cause de l'altération que le fer peut éprouver dans l'eau (\*).

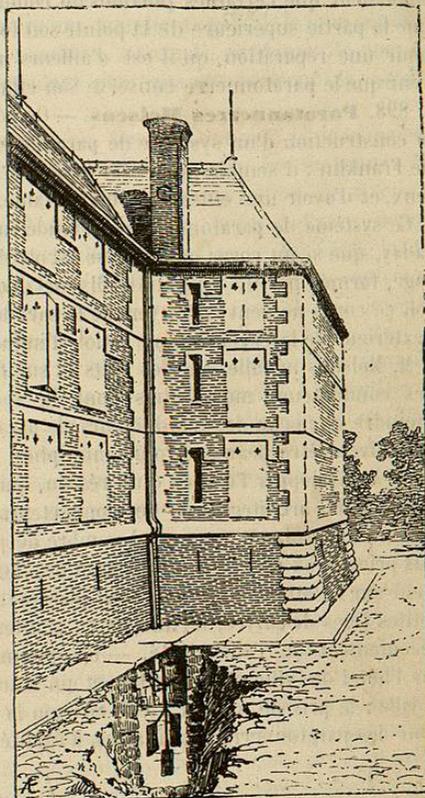


Fig. 720. — Paratonnerres avec leurs conducteurs.

897. Lorsque des paratonnerres sont établis sur un édifice, dans de bonnes conditions et en nombre suffisant (\*\*), il est rare que ce bâtiment soit frappé de la foudre : l'écoulement de l'électricité attirée vers la pointe de la tige est

(\*) M. Nouel a conseillé, en 1874, d'établir 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.

manifesté par une aigrette lumineuse, visible dans l'obscurité. — Si le paratonnerre est frappé, l'électricité s'écoule dans le sol par le conducteur, sans occasionner de dégâts sur son passage. Il arrive parfois seulement que certaines portions du conducteur soient détériorées, ou que la partie supérieure de la pointe soit fondue : on en est quitte alors pour une réparation, qu'il est d'ailleurs indispensable de faire si l'on veut que le paratonnerre conserve son efficacité.

898. **Paratonnerres Melsens.** — On doit à M. Melsens, de Bruxelles, la construction d'un système de paratonnerres assez différent de celui de Franklin : il semble 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 (\*).

M. Melsens 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. — Un système de ce genre a été établi sur l'hôtel de ville de Bruxelles, et un autre sur l'une des casernes de la ville : le prix de revient a été environ la moitié de ce qu'il eût été pour des paratonnerres ordinaires, à égalité de superficie.

#### VI. — VARIATIONS DU MAGNÉTISME TERRESTRE.

899. **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*.

(\*) On peut, par exemple, placer un oiseau dans une cage ordinaire, à treillage de fils de fer, 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.

Pendant l'intervalle d'une même journée, on voit, dans nos climats, l'extrémité australe de l'aiguille 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.

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  $41^{\circ}50'$ ; la déclinaison moyenne annuelle a été alors en diminuant jusqu'en 1665, 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  $22^{\circ}34'$ , et elle a ensuite commencé à décroître. — En 1880, la déclinaison moyenne, toujours occidentale, était d'environ  $16^{\circ}50'$ ; elle semble décroître d'environ  $7'$  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  $75^{\circ}$ ; elle a été en décroissant depuis cette époque; sa valeur en 1880 était d'environ  $65^{\circ}20'$ , c'est-à-dire que, dans un intervalle de plus de deux cents ans, elle n'a diminué que d'environ  $10^{\circ}$ . — Par conséquent, tout ce qu'on peut dire jusqu'ici, c'est que les variations de l'inclinaison ont été beaucoup plus petites que celles de la déclinaison. Mais il n'est pas impossible que ces deux éléments du magnétisme terrestre soient soumis à une même période d'oscillation; 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 réside donc pas dans des phénomènes qui s'accompliraient à une petite distance de la surface du globe.

900. **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 50° ou 40°. — 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*, une carte de France sur laquelle sont tracées les *lignes d'égale déclinaison*, ou *lignes isogoniques*, joignant entre eux les points pour lesquels la déclinaison a présenté une même valeur, au 1<sup>er</sup> janvier 1879; ces lignes se succèdent de degré en degré (\*). En admettant une variation de 7' en moins par an, on peut obtenir, pendant plusieurs années, la valeur très approchée de la déclinaison, pour tous les points qui sont compris dans cette carte.

Quant à la distribution des lignes isogoniques à la surface du globe, elle est trop irrégulière pour se prêter à un résumé élémentaire.

**Inclinaison.** — Les variations de l'aiguille d'inclinaison à la surface du globe peuvent se résumer de la manière suivante. Supposons qu'en partant de nos latitudes on puisse se déplacer, avec une boussole d'inclinaison, en suivant à peu près un *méridien*; à mesure que l'on remontera vers le nord, l'inclinaison, qui était de 65° environ à Paris, ira en augmentant, le pôle austral de l'aiguille étant toujours au-dessous de l'horizon. On a même découvert, dans les voyages aux 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° du pôle, se nomme le *pôle magnétique boréal de la terre* (\*\*). — Si, partant de là, on redescend vers l'équateur, on observera que l'inclinaison va toujours en diminuant; dans le voisinage de l'équateur, on trouvera un point où l'aiguille est *horizontale*, c'est-à-dire où l'inclinaison est nulle. Ce point

(\*) Dans le même Annuaire, on trouve une table des déclinaisons de l'aiguille aimantée dans tous les chefs-lieux de départements de la France et dans quelques villes des pays voisins, pour le 1<sup>er</sup> janvier 1879.

(\*\*) 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.

appartient à l'*équateur magnétique* du globe. — En continuant la même marche vers le pôle austral de la terre, on observera que l'aiguille s'incline de nouveau, mais alors c'est son pôle boréal qui se trouve au-dessous de l'horizontale. Cette inclinaison va en augmentant jusqu'à un point situé dans les régions antarctiques, et nommé *pôle magnétique austral* de la terre, où l'aiguille se retrouve verticale, mais en sens contraire de la position qu'elle occupait au pôle magnétique boréal. Ce second point est à environ 18° du pôle géographique.

Le même fait s'observerait sur tous les méridiens. — La ligne qui réunit tous 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 même diamètre. L'équateur magnétique se déplace d'ailleurs progressivement, par suite des variations séculaires de l'inclinaison (\*).

#### VII. — MÉTÉORES LUMINEUX.

901. **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. 721 ou 722), 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 réfléchie, 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 I'R'; la figure 721 représente le cas d'une seule réflexion intérieure; la figure 722, le cas de deux réflexions.

(\*) 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 de décrire 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 peut-être d'intensité.

Considérons d'abord le cas d'une seule réflexion. — Soit un deuxième rayon *ri* (fig. 721), 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

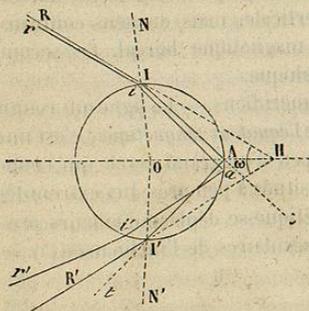


Fig. 721.

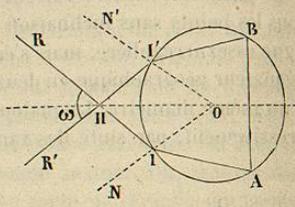


Fig. 722.

de plus en plus l'un de l'autre, pendant leur trajet à l'intérieur de la sphère; à l'émergence, les rayons *IR'* et *i'r'* suivent des directions divergentes. En d'autres termes, un faisceau de rayons simples, parallèles avant l'incidence, donne généralement naissance à un faisceau réfracté divergent: si donc on a égard à la distance du nuage au spectateur, on conçoit que la quantité de lumière apportée à l'œil par ce faisceau soit trop faible pour y produire une impression. — Mais la déviation totale du rayon RI est la somme des angles  $\text{HIs}$ ,  $\text{sAI}$ ,  $\text{I'R}$ : or, la théorie montre que, si la position de RI est telle que cette déviation totale soit un maximum ou un minimum par rapport à celles des autres rayons, les rayons voisins de RI émergeront suivant des directions sensiblement parallèles; ces rayons pourront donc impressionner l'œil: on les nomme rayons efficaces.

Le calcul donne, pour les rayons de chaque couleur, la valeur de ce maximum ou de ce minimum; et la figure montre que, en retranchant cette valeur de 4 angles droits, on obtient l'angle  $\text{RHR}'$  ou  $\omega$ , que fait le faisceau incident avec le faisceau émergent; on voit aussi, en tenant compte des lois de la réflexion et de la réfraction, que les directions RI et R'I prolongées se rencontrent en un point H de la droite OA, laquelle est bissectrice de l'angle  $\text{RHR}'$ ; enfin, que l'angle d'incidence intérieure est égal à l'angle d'émergence  $\text{RTN}$ . — Dans le cas d'une seule réflexion intérieure, on trouve, pour les rayons rouges,  $\omega = 42^\circ 1' 10''$ , et l'angle d'incidence correspondant est de  $59^\circ 25' 30''$ .

Soit donc SAS' (fig. 725) une droite passant par le centre du soleil et par l'œil du spectateur que nous supposerons placé en A; menons par ce point A, vers le nuage, une droite quelconque AM faisant avec AS' un angle de  $42^\circ 1' 10''$ : pendant la chute de la pluie, cette droite

est à chaque instant rencontrée par des gouttes d'eau, de telle façon que l'angle d'incidence soit égal à  $59^\circ 25' 30''$ . Soit G une des gouttes; menons par son centre une parallèle à la bissectrice de l'angle MAS' et considérons le rayon solaire dont la direction RI est symétrique de IA par rapport à cette parallèle. Ce rayon, en se réfractant au point I, subit une décomposition, et l'on voit, d'après ce qui précède, que le rayon rouge auquel il donne naissance sortira de la goutte d'eau sui-

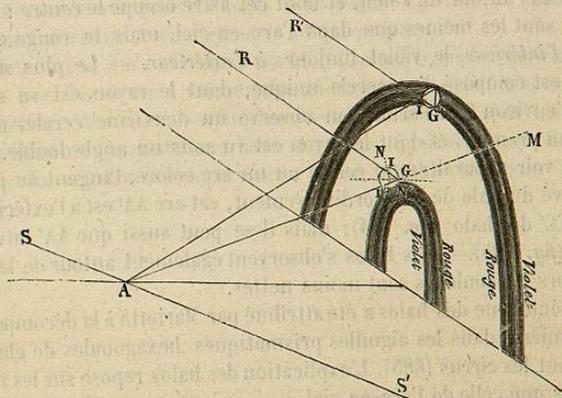


Fig. 725.

vant IA, après s'être réfléchi une fois dans son intérieur; on voit, de plus que les rayons très voisins de RI donneront, à l'émergence, un faisceau de rayons efficaces; l'œil de l'observateur placé en A recevra donc de la lumière rouge dans la direction IA. — Les mêmes conclusions s'appliquent à toute droite qui fait avec AS' un angle de  $42^\circ 1' 10''$ , le spectateur verra un arc rouge, suivant l'intersection de la voûte céleste avec la surface d'un cône engendré par la révolution de IA autour de AS'. Cet arc rouge ne sera d'ailleurs pas une simple ligne lumineuse, mais une bande, ayant une largeur angulaire égale au diamètre apparent du soleil; on voit en effet que l'on peut répéter, pour chacun des points du soleil, les raisonnements que nous avons faits pour le centre.

Les diverses couleurs qui composent la lumière blanche incidente donnent lieu à des phénomènes semblables; mais la théorie montre que la valeur de l'angle  $\omega$  va progressivement en décroissant, du rouge au violet: c'est pourquoi, dans cet arc-en-ciel, le rouge occupe le bord externe. — Les bandes correspondantes aux sept couleurs du spectre se superposent d'ailleurs en partie; de sorte que les couleurs de l'arc-en-ciel ne sont pas des couleurs simples, à l'exception du rouge extrême et du violet extrême.

Si l'on considère de même le cas de deux réflexions intérieures,

on arrive à expliquer l'*arc-en-ciel extérieur*. — Dans ce cas, la valeur de l'angle  $\omega$  (fig. 722) est plus petite pour le violet que pour le rouge : le rouge occupe donc le bord *interne*, et le violet le bord *externe*. — On comprend aussi que ce deuxième arc doit être moins brillant que le premier, parce que les rayons qui le produisent ont subi une réflexion de plus, à l'intérieur des gouttes d'eau.

902. **Halos.** — On nomme *halos*, des cercles colorés qui s'observent quelquefois autour du soleil, et dont cet astre occupe le centre : les couleurs y sont les mêmes que dans l'*arc-en-ciel*, mais le rouge est toujours à l'*intérieur*, le violet toujours à l'*extérieur*. — Le plus souvent, le halo est composé d'un cercle unique, dont le rayon est vu sous un angle d'environ  $23^\circ$ . Parfois, on observe un deuxième cercle, concentrique au premier, et dont le rayon est vu sous un angle double. Enfin, on peut voir apparaître un cercle ou un arc coloré, tangent au point le plus élevé du halo de  $23^\circ$ ; ordinairement, cet arc AA' est à l'extérieur du cercle CC' du halo (fig. 724); mais il se peut aussi que AA' enveloppe le halo (fig. 725). — Les halos s'observent également autour de la lune; mais alors les couleurs sont moins nettes.

Le phénomène des halos a été attribué par Mariotte à la décomposition de la lumière, dans les aiguilles prismatiques hexagonales de glace qui composent les cirrus (885). L'explication des halos repose sur les mêmes principes que celle de l'*arc-en-ciel*.

\*903. **Cercles parhéliques.** — **Parhélies.** — Un *cercle parhélique* est une bande blanche horizontale PP' (fig. 724 et 725), passant par le soleil S, et ayant une hauteur égale au diamètre de l'astre. Il accompagne ordinairement le halo, qu'il coupe en deux points s et s' (fig. 724); en

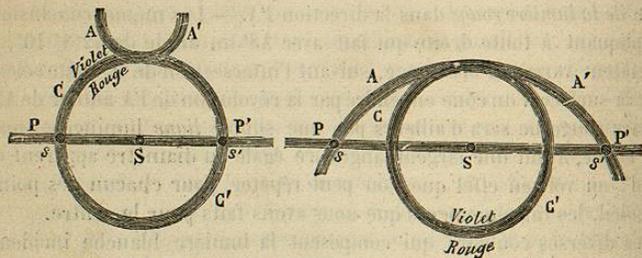


Fig. 724.

Fig. 725.

ces points, on voit apparaître des images du soleil, très vives et colorées, qu'on nomme *parhélies*. — Ordinairement, on observe aussi une image blanche de l'astre, au point du cercle parhélique qui est diamétralement opposé au soleil; on lui donne le nom d'*anthélie* ou de *faux-soleil*. — Lorsque l'arc AA' enveloppe le halo de  $23^\circ$  (fig. 725), les parhélies s et s' apparaissent aux intersections de cet arc AA' avec le cercle parhélique.

Le cercle parhélique est dû à la réflexion de la lumière solaire, sur les faces des prismes de glace qui sont placées verticalement.

\*904. **Couronnes.** — Les *couronnes* sont encore des cercles colorés, qui apparaissent autour du soleil ou autour de la lune. Elles se distinguent des halos par une disposition inverse des couleurs : le rouge est toujours à l'*extérieur*, le violet à l'*intérieur*; leur diamètre est d'ailleurs bien moindre que celui des halos. — On observe fréquemment plusieurs couronnes concentriques : l'angle sous lequel on voit le rayon de la couronne intérieure varie depuis  $1^\circ 30'$  jusqu'à  $4^\circ$ .

Le phénomène des couronnes est dû à l'action exercée sur les rayons solaires par les nuages formés de gouttelettes sphériques, sensiblement égales entre elles. — On peut le reproduire artificiellement, en soufoudrant de lycopode une lame de verre, à travers laquelle on regarde la flamme d'une bougie placée à une certaine distance.