956. *Comment s'explique cette* IMPUISSANCE ? — Par une insensibilité anomale de la rétine qui lui enlève la faculté de vibrer à l'unisson de tel ou tel rayon lumineux. Tous les yeux distinguent le jaune, aucune rétine n'est donc insensible pour la lumière jaune, et ce fait s'explique par la coloration normale de la rétine en jaune. L'œil qui est insensible à une couleur est aussi insensible à la couleur complémentaire, ce qui est tout à fait d'accord avec le fait observé de la succession des impressions dans les couleurs subjectives.

957. *Faites ressortir les analogies et les différences entre la lumière et le son.* — La lumière et le son sont tous deux le résultat de mouvements vibratoires. Le milieu vibrant et transmettant, pour le son, est l'air; le milieu vibrant et transmettant pour la lumière est l'éther. Les vibrations des molécules aériennes ou les vibrations sonores ont lieu dans le sens même de la propagation du mouvement, ou en sens contraire, mais suivant la même ligne ; les vibrations des molécules éthérées ou les vibrations lumineuses ont lieu perpendiculairement à la direction de propagation du mouvement. Les vibrations sonores se comptent par centaines ou par milliers ; les vibrations lumineuses, incomparablement plus nombreuses, se comptent par millions. Le mouvement sonore, comme le mouvement lumineux, se réfléchit, se réfracte, se polarise, se disperse, se diffracte, interfère, etc. ; les corps vibrent dans un certain unisson avec l'air en mouvement qui les frappe et rendent un son propre ; les corps aussi vibrent dans un certain unisson avec le mouvement lumineux qui les frappe et brillent de leurs couleurs propres. Le mouvement vibratoire persiste un certain

temps dans les corps frappés par l'air en mouvement, l'impression produite sur l'œil par le mouvement lumineux persiste aussi pendant un temps plus ou moins long, etc., etc.

CHAPITRE V

Phénomènes d'optique naturels, ou optique météorologique.

§ 1. — ARC-EN-CIEL.

958. *Qu'est-ce que l'*ARC-EN-CIEL ? — Une bande à peu près semi-circulaire, plus ou moins étendue, formée de sept arcs concentriques principaux présentant successivement les couleurs du spectre solaire, depuis le violet en bas ou à l'intérieur, jusqu'au rouge en haut, ou à l'extérieur, bandes qu'on aperçoit ordinairement dans les nuées quand le *soleil luit* en même temps qu'il pleut.

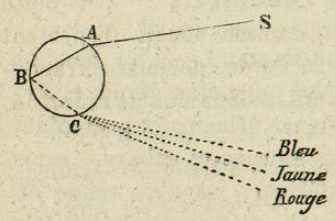
959. *Quelle est la* CAUSE *de l'arc-en-ciel ?* — La décomposition de la lumière du soleil par les gouttes de pluie.

960. *Quelles sont les* CONDITIONS *nécessaires pour que l'on voie l'arc-en-ciel ?* — Il faut : 1° que l'on regarde du côté *opposé au soleil;* 2° qu'une nuée obscure se trouve derrière les gouttes de pluie qui décomposent et dispersent les rayons; 3° que le soleil ne soit pas trop élevé au-dessus de l'horizon.

961. *Comment a-t-on été conduit à admettre que l'arc-en-ciel résulte de la décomposition de la lumière*

par des gouttes de pluie? — Par ce double fait : 1° que les cascades, les jets d'eau, les gouttes de pluie dispersées sur l'herbe ou sur des toiles d'araignée produisent le même phénomène ; 2° qu'en partant de cette supposition, et mettant en outre en jeu les interférences de la lumière, on est arrivé à se rendre compte de toutes les particularités du phénomène de l'arc-en-ciel.

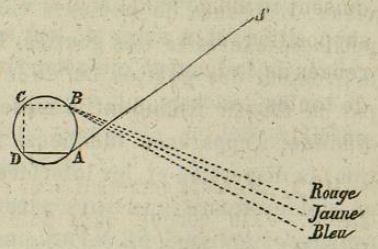
962. *Montrez comment peut s'opérer cette décomposition.* — On conçoit sans peine : 1° qu'un rayon solaire SA, qui rencontre une goutte d'eau en A, se réfracte, arrive en B, se réfléchisse presque totalement en B sur la surface limite de la goutte d'eau, vienne en C, et sorte en se réfractant de nouveau en C; 2° que cette réfraction double disperse les rayons composants ou les sépare dans l'ordre de leur réfrangibilité, rouge, jaune, bleu, comme l'aurait fait un prisme.



963. *Les mêmes gouttes produisent-elles la même couleur pour chaque personne?* — Non, et chaque spectateur voit son arc-en-ciel particulier.

964. *L'arc-en-ciel est-il toujours* SIMPLE ? — Non ; très souvent on voit à la fois deux arcs, l'un intérieur, dont les couleurs sont plus vives ; l'autre extérieur, plus pâle, et dans lequel l'ordre des couleurs est renversé. Dans l'arc intérieur ou principal, le rouge est en bas, le violet en haut ; dans l'arc secondaire, extérieur, le violet est en bas, le rouge en haut.

965. *Comment expliquez-vous la formation du second arc-en-ciel?* — Toujours par la décomposition de la lumière par les gouttes de pluie. On conçoit : 1° qu'un rayon blanc SA, pénétrant dans la goutte d'eau, non plus par le haut, mais par le bas, se réfracte en A, se réfléchisse d'abord en D, puis en C, se réfracte de nouveau et sorte en B; 2° que cette réflexion double et cette réfraction double dispersent les rayons composants dans l'ordre de leur réfrangibilité, mais renversée, à cause de la double réflexion, bleu, jaune, rouge.



966. *Pourquoi les couleurs de l'arc-en-ciel inférieur sont-elles plus* VIVES, *celles de l'arc-en-ciel supérieur moins* VIVES ? — Parce que les rayons qui donnent le premier arc n'ont subi qu'une réflexion, tandis que les rayons qui donnent le second arc en ont subi deux, et que la réflexion affaiblit toujours un peu la lumière.

967. *Le nombre des arcs est-il borné toujours à* DEUX ? — Non ; on en a vu quelquefois jusqu'à trois ; la théorie indique qu'il peut y en avoir un plus grand nombre ; mais leur lumière est si faible, qu'on ne les aperçoit presque jamais. On voit plus souvent près du violet de l'arc inférieur ou principal des arcs appelés *surnuméraires*, formés chacun de deux bandes, l'une pourpre, l'autre verdâtre, bandes qui proviennent des interférences des rayons voisins de ceux qui produisent l'arc-en-ciel principal.

968. *Qu'est-ce que l'arc-en-ciel blanc et à quoi faut-il l'attribuer?* — C'est l'arc-en-ciel qui se forme sur un brouillard au lieu de se former sur un nuage pluvieux. L'absence de couleurs tient uniquement à la petitesse excessive des gouttes. En tenant compte de la grosseur des gouttes ou de leur diamètre, on voit par la théorie comment, à mesure que ce diamètre diminue, l'apparence lumineuse formée par la réfraction, la dispersion et les interférences, passe de l'arc-en-ciel ordinaire aux arcs surnuméraires, aux couronnes, et arrive enfin à l'arc-en-ciel blanc.

§ 2. — LUMIÈRE DIFFUSE, AURORE ET CRÉPUSCULE.

969. *Qu'est-ce que la lumière* DIFFUSE *ou la lumière* DU JOUR? — La lumière du soleil réfléchie, répercutée, transmise par les innombrables molécules de l'atmosphère aérienne. Si l'atmosphère n'existait pas, la surface terrestre ne recevrait de lumière que la lumière arrivée directement du soleil; si on cessait de regarder cet astre ou les objets directement frappés par ses rayons, on se trouverait aussitôt dans les ténèbres. Grâce à l'atmosphère, au contraire, il n'est pas de lieu si retiré, pourvu que l'air puisse s'y introduire, qui ne soit éclairé, alors même que les rayons du soleil n'y arrivent pas directement.

970. *Qu'est-ce que l'*AURORE? — La clarté qui précède le lever du soleil, la lumière qui nous arrive du soleil par la réfraction et la diffusion dans l'atmosphère de ses rayons, alors qu'il est encore à 17 ou 18 degrés au-dessous de l'horizon.

971. *Qu'est-ce que le* CRÉPUSCULE? — La clarté qui suit le coucher du soleil, la lumière qui nous arrive du soleil par la réfraction et la diffusion dans l'atmosphère, alors qu'il est à moins de 18 degrés au-dessous de l'horizon. Le crépuscule est l'aurore du soir, ou mieux l'aurore est le crépuscule du matin. Si l'atmosphère n'existait pas, le jour succéderait à la nuit et la nuit au jour instantanément. Grâce à l'atmosphère, au contraire, nous ne passons que peu à peu, et par une gradation insensible, du jour à l'obscurité, de l'obscurité au jour.

972. *Qu'appelle-t-on* COURBE ANTICRÉPUSCULAIRE? — La courbe limite de la projection dans l'atmosphère de l'ombre de la terre éclairée par les rayons du crépuscule du matin ou du soir.

Lorsque le soleil est sous l'horizon, le cône lumineux formé par les rayons qui rasent tangentiellement la terre, prolongé à travers toute l'atmosphère supposée sphérique, et modifié par les réfractions qu'il subit, trace, en sortant des dernières couches, un cercle qui sépare les régions aériennes directement illuminées de celles qui ne le sont qu'indirectement; cette courbe limite est la courbe anticrépusculaire. Elle se montre vers l'horizon oriental quand le soleil se couche, et vers l'horizon occidental quand il se lève.

973. *Qu'appelle-t-on les* TEINTES *de l'aurore ou du crépuscule?* — Les teintes de la courbe crépusculaire. Cette courbe n'est pas une ligne tranchée, mais un secteur ou une surface circulaire d'une certaine étendue, nuancée de diverses teintes se succédant de bas en haut dans l'ordre suivant : rouge, orangé, jaune, vert, pourpre rosâtre, bleu grisâtre, rougeâtre.

974. *Qu'appelle-t-on* RAYONS CRÉPUSCULAIRES? — Les faisceaux lumineux blancs ou colorés qui pénètrent dans l'atmosphère à travers les échancrures des nua-

ges, le plus souvent des *cumulo-stratus*, interposés entre le soleil couchant et l'œil de l'observateur. Quelquefois ces arcs lumineux semblent rayonner du soleil et former une sorte de gloire de saint à larges rayons divergents. Quelquefois, au contraire, ils se dessinent sur le ciel comme de grands cercles convergents qui vont se couper au point du ciel diamétralement opposé au soleil. Cette divergence et cette convergence ne sont qu'apparentes ; en réalité, les rayons crépusculaires sont parallèles ; cette illusion a la même cause que celle qui nous montre convergentes les deux rangées parallèles d'arbres qui bornent une avenue.

975. *Qu'appelle-t-on* BANDES POLAIRES ? — Une distribution particulière de lumière qui dessine sur une couche de nuages un arc en apparence circulaire, quelque peu semblable, par sa forme et son orientation, aux arcs des aurores boréales.

§ 3. — RÉFRACTION ASTRONOMIQUE ET TERRESTRE EXTRAORDINAIRE, MIRAGE.

976. *Qu'appelle-t-on* RÉFRACTION ASTRONOMIQUE ? — La déviation que la lumière venue des astres subit dans son passage à travers les couches successives de l'atmosphère terrestre, et qui nous fait voir ces astres plus élevés au-dessus de l'horizon qu'ils ne le sont réellement. Elle est rigoureusement nulle quand l'astre est au zénith ; elle croît à mesure que l'astre descend vers l'horizon.

Par suite de la réfraction, le soleil et la lune, dont le diamètre apparent n'est que de 32 minutes, angle moindre que la déviation produite par la réfraction, peuvent apparaître en entier au-dessus de l'horizon, alors qu'ils sont en entier au-dessous ; la lune a pu se

montrer éclipsée avant son coucher, pendant que le soleil brillait vers l'orient. Le bord inférieur du disque solaire ou lunaire est plus relevé que le bord supérieur, et les deux astres paraissent aplatis dans le sens vertical.

977. *Qu'appelle-t-on* RÉFRACTION TERRESTRE ? — La déviation que la lumière venue des objets terrestres subit dans son passage à travers les couches qui séparent ces objets de l'œil, et qui a aussi pour effet de les montrer à une plus grande hauteur.

978. *Qu'appelle-t-on* RÉFRACTION ANOMALE *ou* EXTRAORDINAIRE ? — L'exagération ou le renversement de la réfraction atmosphérique.

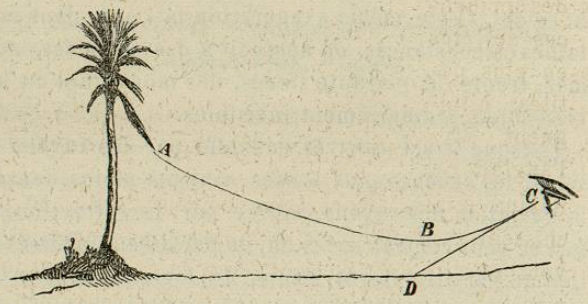
Par suite des réfractions exagérées causées par des températures très basses ou une densité excessive de l'air, on a vu le soleil, dans les régions polaires, se lever jusqu'à dix-sept jours plus tôt que ne l'annonçait le calcul. Cette même exagération fait que, dans certaines circonstances, on aperçoit à des distances énormes, trente ou quarante lieues, des montagnes ou autres objets ordinairement invisibles.

Lorsque le sol est très échauffé par les rayons du soleil, les couches plus basses sont les moins denses ; la déviation des rayons, causée par la réfraction, se fait en sens contraire, les objets paraissent abaissés au lieu de paraître élevés. Ainsi, 1° lorsque la mer est plus chaude que l'air, l'horizon paraît beaucoup plus abaissé qu'il ne devrait l'être relativement à la hauteur d'où l'on observe. 2° Si, au contraire, la mer est beaucoup plus froide que l'air, l'horizon apparent s'élève à une grande hauteur, comme si l'observateur était dans un bas-fond. 3° Des arbres hauts de 20 mètres et plus deviennent quelquefois invisibles et sem-

blent être descendus au-dessous de l'horizon. 4° Par des journées très chaudes, des clochers très élevés disparaissent aussi sous l'horizon, tandis que le soir, quand l'atmosphère s'est rafraîchie, on voit non seulement le clocher, mais l'église et le sol environnant, en apparence soulevés.

979. *Qu'appelle-t-on* MIRAGE ? — Des effets de réfraction extraordinaire qui font apparaître au-dessus du sol ou dans l'atmosphère l'image renversée des objets éloignés. Le mirage peut se produire soit verticalement, soit latéralement.

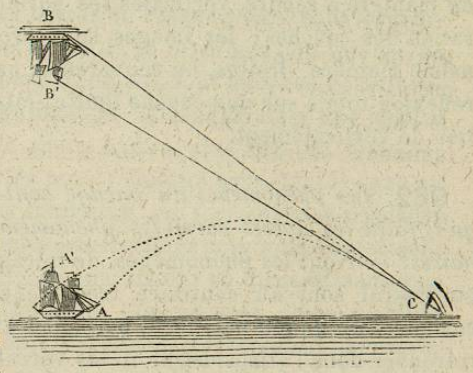
980. *Quelle est la cause et quels sont les effets du* MIRAGE VERTICAL ? — Dans les cas de réfraction extraordinaire, par exemple, lorsque les couches inférieures de l'air sont très chaudes et très raréfiées, les rayons lumineux venant d'un objet, du palmier A, par exemple,



et passant sans cesse d'une couche plus dense dans une couche moins dense, se courbent de plus en plus, arrivent aux diverses couches sous des incidences de plus en plus petites, et il peut arriver qu'ils atteignent une couche limite B sous une inclinaison telle, qu'au lieu d'y pénétrer ils se réfléchissent totalement et re-

viennent dans le milieu plus dense en suivant une seconde courbe convexe BC. L'œil alors placé en C pourra voir et l'objet A directement à travers les couches de densité sensiblement uniformes, et l'image renversée de cet objet dans le prolongement CD de la tangente à la courbe BC.

De même, lorsque, aux couches les plus basses, beaucoup plus denses que dans l'état normal, par leur contact, par exemple, avec l'eau plus froide de la surface des mers, sont superposées des couches moins denses, les rayons lumineux émis par le navire AA′ s'éloignent de plus en plus de la verticale, arrivent aux couches plus élevées sous des incidences de plus en plus petites, atteignent sous l'angle de ré-



flexion totale une certaine couche limite, se réfléchissent, rentrent dans le milieu plus dense, et arrivent à l'œil en C ; on peut, dans ce cas, voir et le navire AA′ directement, et son image renversée B′B, située non plus au-dessous, mais au-dessus. Cette première image, faisant à son tour fonction d'objet, peut donner naissance à une seconde image située au-dessus d'elle, renversée par rapport à elle, mais droite relativement au navire.

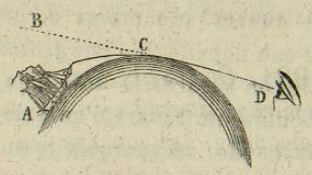
Le premier cas de mirage horizontal est très fréquent dans les plaines de la Basse-Égypte, échauffée

par les ardeurs d'un soleil de feu. Le second cas est très souvent observé dans les mers du Groënland.

981. *Quelle est l'*ORIGINE *et quels sont les* EFFETS *du mirage latéral?* — Il a lieu lorsque, par une cause quelconque, des couches d'air très chaudes, très dilatées, par leur contact, par exemple, avec une paroi verticale que les rayons du soleil frappent, sont en contact avec des couches d'air plus froides et plus denses. Pour se rendre compte de ces effets, il suffit de faire tourner de 90 degrés les deux figures qui précèdent, de manière à rendre verticales les surfaces de séparation des couches ; les images sont produites de la même manière, droites, ou renversées, par suite de la réflexion totale sur une couche limite, latéralement au lieu de verticalement.

982. *Les phénomènes du mirage sont-ils si* RARES *qu'il faille les classer parmi les phénomènes extraordinaires?* — Non, les phénomènes de mirage horizontal ou latéral sont au contraire très fréquents et très communs. Si un œil patient et perçant s'exerçait à les retrouver dans l'atmosphère, il les verrait partout où il y a des surfaces horizontales ou verticales longtemps exposées à un soleil d'été. En se couchant à plat ventre sur le sol revêtu de bitume de la place de la Concorde, par un jour très chaud, on peut voir le mirage horizontal dans des conditions d'éclat et d'illusion tout à fait remarquables. On constatera la réalité du mirage latéral en faisant raser à son œil une longue muraille située au midi, et que le soleil a échauffée pendant quelques heures. L'histoire a conservé le souvenir d'un pilote de Bourbon ou de Cayenne qui annonçait à coup sûr l'arrivée des vaisseaux, alors qu'ils étaient

encore au-dessous de l'horizon de l'île ; son secret était très probablement l'observation assidue du mirage ; les vaisseaux A ne lui apparaissaient sans doute pas autrement que dans leurs images B, projetées sur le ciel par l'effet des réfractions extraordinaires, comme le montre la figure du n° 980.



983. *En outre des mirages réguliers dont il vient d'être question, existe-t-il un* MIRAGE IRRÉGULIER ?—Oui. Les couches très basses de l'atmosphère, dans les journées de l'été, par suite de la réverbération intense de la surface des mers et du sol, sont animées de mouvements très irréguliers. Si on braque alors une lunette vers l'horizon, la vision n'aura plus rien de distinct ; réfractés et déviés tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, les rayons lumineux ne forment plus d'images constantes et continues; certains points de l'objet sont invisibles, d'autres apparaissent et disparaissent tour à tour ; les contours de l'image sont d'une mobilité excessive et les objets sont considérablement déformés. Les apparences magiques des *Fata-Morgana* du détroit de Messine sont dues en partie au mirage, en partie aux réverbérations du sol et de la mer.

COURONNES, HALOS, PARHÉLIE.

984. *Qu'appelle-t-on* COURONNES? — Des cercles colorés concentriques au soleil et à la lune, plus ou moins nombreux, dont les diamètres varient comme les nombres 1, 2, 3, 4, et qui sont nuancés de rouge à l'extérieur, de violet à l'intérieur.

985. COMMENT *sont produites les couronnes?* — Par

la diffraction des rayons lumineux dans leur passage à travers une masse de globules ou petites sphères d'eau liquéfiées, d'une grosseur sensiblement uniforme. Si l'on regarde le soleil, la lune ou la flamme d'une bougie au travers d'un verre couvert de poussière de lycopode, on aperçoit de superbes couronnes concentriques qui rappellent tout à fait celles de la nature.

986. *Qu'est-ce que l'*ANTHÉLIE? — Une sorte d'auréole ou de gloire, d'une lumière plus ou moins vive, qui apparaît quelquefois autour de la tête d'un observateur placé en face d'un nuage ou d'un amas de poussière fine, et qui est due à la réflexion ou à une illumination rétrograde de la lumière.

987. *Que sont les* HALOS PROPREMENT DITS? — Des cercles colorés de grand diamètre, qui ont le soleil ou la lune pour centre, nuancés de rouge à l'intérieur, de violet à l'extérieur, et qui sont dus à la réfraction des rayons lumineux par des prismes de glace d'un angle de 60 degrés, flottant dans l'atmosphère, avec leur arête horizontale. Le rayon du premier halo ordinaire est d'environ 22 degrés, le rayon du deuxième halo extraordinaire est d'environ 46 degrés; on en voit quelquefois un troisième distant du soleil de 90 degrés, dans lequel le violet est à l'intérieur et le rouge à l'extérieur.

988. *Qu'est-ce que le* CERCLE PARHÉLIQUE? — Un grand cercle blanc parallèle à l'horizon, dont la circonférence passe par le soleil ou par la lune, et dont la largeur est la même que celle de l'astre illuminant. Il est aussi dû à la réfraction de la lumière par des prismes de glace flottant dans l'amosphère, mais par des prismes orientés autrement que ceux qui donnent

le halo. Le cercle parhélique est quelquefois accompagné de deux autres cercles blancs passant par le soleil, et se coupant sous un angle de 60 degrés.

989. *Que sont les* PARHÉLIES? — Des images colorées du soleil qui apparaissent à l'intersection des cercles parhéliques avec d'autres cercles analogues appelés cercles circumzénithaux, ou tangents, parce qu'ils ont le zénith pour centre, et qu'ils sont tangents aux halos proprement dits. Les parhélies ont les couleurs du halo, et souvent une sorte de queue ou prolongement dans la direction du cercle parhélique ; ils sont dus aussi à la réfraction par des prismes de glace.

990. *Qu'appelle-t-on communément* HALO? — Un phénomène lumineux très compliqué résultant de l'apparition simultanée des halos proprement dits, du cercle parhélique, de cercles tangents, de cercles verticaux, d'un plus ou moins grand nombre de parhélies, d'autres cercles encore passant par les parhélies, etc., et qui a toujours pour cause la réflexion sur des cristaux de glace orientés plus ou moins régulièrement.

991. *Que sont les traînées lumineuses verticales et horizontales qui, dans les régions polaires, accompagnent quelquefois le soleil à son lever?* — Très probablement des phénomènes de diffraction ou de réseaux, car on les imite ou on les reproduit en regardant le soleil à travers une toile métallique ou une surface de verre rayée. Les deux traînées réunies forment quelquefois une croix.

§ 5. — SCINTILLATION.

992. *Qu'est-ce que la scintillation des étoiles?* — L'agitation, le mouvement de trépidation dont les

étoiles semblent animées, avec changement d'éclat et de couleurs, avec altération du diamètre apparent, avec apparition de rayons divergents qui jaillissent du centre de l'étoile.

993. *Quelle est la* CAUSE *de la scintillation?* — Suivant François Arago, la scintillation a pour cause unique les interférences des rayons stellaires par suite de leur passage à travers des portions de l'atmosphère plus ou moins denses, plus ou moins humides, inégalement réfringentes, et qui, par conséquent, augmentent ou diminuent inégalement leurs vitesses de propagation. Ces interférences, en supprimant certains rayons, tantôt les uns, tantôt les autres, en éteignant même quelquefois totalement ou presque totalement la lumière émise, donneraient une explication assez naturelle de l'agitation de l'image de l'étoile, de ses changements d'éclat et de couleur.

Mais il semble qu'on peut se rendre très bien compte de ce singulier phénomène sans recourir aux interférences par la seule dispersion de la lumière des étoiles, ou par ce double fait : 1° que la lumière des étoiles est dispersée par l'atmosphère, que les étoiles par conséquent étalent en quelque sorte, devant le regard, un rideau de lumière dispersée ou de couleurs actuellement séparées; 2° que cette dispersion, en quelque sorte élémentaire et très faible, peut devenir sensible par l'agitation de l'air, par des réflexions totales de certains rayons à la surface des ondes atmosphériques, par l'hétérogénéité et les inégalités des milieux traversés, etc., etc.

Le refroidissement du sol par le rayonnement vers les espaces célestes dans les nuits sereines produit des courants ascendants et descendants souvent intenses,

qui agitent et troublent l'atmosphère surtout vers l'horizon, mais qui se font sentir à une assez grande hauteur, qui suffisent à rendre mobiles à l'excès les images des étoiles, et à faire ressortir tantôt l'une, tantôt l'autre des couleurs séparées par la dispersion.

994. *Pourquoi la scintillation est-elle* BEAUCOUP PLUS FORTE *à l'horizon?* — Parce que c'est surtout à l'horizon que sont actives et puissantes les causes de la scintillation, la dispersion, l'agitation de l'air, la présence d'ondes atmosphériques, les irrégularités de transparence, etc., etc.

995. *Pourquoi les planètes ne scintillent-elles pas?* — Elles scintillent quelquefois, mais elles scintillent moins que les étoiles, parce qu'elles ont un diamètre apparent, parce que ce n'est plus un rayon très délié, mais un large faisceau de lumière qu'elles envoient à l'œil, et que, dans ces conditions, il y a évidemment moins de chance pour que l'extinction ou l'élimination complète d'une des couleurs puisse se produire.