Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 45 (1918)

Artikel: Les phénomènes crépusculaires d'après les observations anciennes et récentes faites en Suisse [suite et fin]

Autor: Gruner, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-742983

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LES

PHÉNOMÈNES CRÉPUSCULAIRES

D'APRÈS LES

Observations anciennes et récentes faites en Suisse

PAR

P. GRUNER
Prof. de physique théorique à l'Université de Berne

(Avec 7 fig.)

(Suite et fin.)

V. — L'ALPENGLÜHEN.

A. *Remarques générales.* Les colorations crépusculaires prennent un éclat parfois extrêmement brillant quand elles se forment, non pas sur le ciel pur, mais sur des nuages ou sur les cimes neigeuses de nos Alpes.

Nous avons déjà décrit l'aspect général d'un « Alpenglühen » normal dans notre article des *Archives* (en mars 1914) auquel nous renvoyons le lecteur. Rappelons seulement que *normalement il n'existe que deux phases de coloration : la coloration principale* ou *coloration directe,* suite de l'illumination des montagnes par les rayons directs du soleil, et la *coloration secondaire* ou *recoloration* qui est séparée de la première par une phase d'*extinction,* montrant souvent une *teinte cadavérique.* D'accord avec Schlagintweit, Maurer, Heim et d'autres, nos observations confirment pleinement que tous les aspects différents de celui que nous venons d'indiquer (par exemple la triple co-

loration, la « résurrection », etc.) ne sont que des irrégularités dans la marche normale de l'Alpenglühen, produites par des nuages ou d'autres troubles du ciel au couchant, au-dessus ou au-dessous de l'horizon de l'observateur.

Ces phénomènes de coloration des Alpes, donnant un vrai réactif pour la coloration des rayons solaires, mais dépendant aussi de la couche d'air, interposée entre l'observateur et la montagne illuminée, il est très important de les étudier simultanément de points d'observation différents. C'est ce que nous avons pu faire, grâce à la collaboration de M. Moser à Oberbalm (et au Faulhorn) et de M. le pasteur Bay au Béatenberg (observant 112 fois). Joignant ces observations aux nôtres (que nous avons faites pendant les 14 dernières années), nous avons obtenu une série d'environ 80 observations simultanées dont nous allons nous occuper. Remarquons préablement qu'à l'inverse des autres phénomènes crépusculaires pour lesquels nous indiquions toujours la dépression solaire correspondante, il importe d'ajouter ici, pour chaque phase de l'Alpenglühen, l'heure de l'observation elle-même (heure de l'Europe centrale). En effet, il s'agit de la coloration objective d'un objet déterminé (par exemple la Jungfrau), laquelle varie pour tous les observateurs simultanément, chaque observateur calculant une dépression solaire différente ; cela n'empêchera pas que, selon les circonstances, nous ne nous servions pas parfois des dépressions solaires.

B. *La coloration directe.* Donnons dès l'abord le résumé de toutes nos observations : La coloration principale des Alpes, l'Alpenglühen, est produite par l'illumination directe par les rayons du soleil, et dépend en première ligne de la coloration et de la déperdition d'intensité que ces rayons ont subie à travers toute l'atmosphère jusqu'à la cime observée. Mais en second lieu, elle dépend de la coloration ultérieure et de la déperdition d'intensité que les rayons, réfléchis sur les surfaces neigeuses, subissent en retournant des Alpes jusque vers l'observateur.

Si l'observateur est placé près de la cime, cette seconde cause sera négligeable et *la coloration observée des neiges donnera*

directement une mesure, très importante, de l'intensité et de la coloration des rayons solaires eux-mêmes. Pour cette raison, les observations du Faulhorn et du Piz Languard, et à un certain degré aussi du Béatenberg (à environ 24 km de la Jungfrau) ont une valeur toute particulière. En effet, M. Meyer, observant au Piz Languard la coloration de la Bernina, à environ 12 km de distance, la trouva en général parfaitement identique à celle des parties neigeuses qui se trouvaient immédiatement à ses pieds.

Au Faulhorn, M. Moser indique comme développement normal des colorations de la Jungfrau (à environ 15 km), la marche suivante : la neige, blanche pendant la journée, passe, vers le soir, par des nuances jaunes à des colorations orangées, qui sont très nettes quand le soleil est à environ 1° au-dessus de l'horizon. Peu à peu s'y mêlent les teintes rouges qui donnent lieu, quand le soleil est au-dessous de l'horizon, au bel aspect d'incandescence qui va en augmentant en même temps qu'il se retire vers les cimes plus élevées, pour s'éteindre quand le soleil atteint une dépression (relative au Faulhorn) d'environ 2°,3. Ajoutons tout de suite que l'observateur du Faulhorn n'emploie jamais pour cette extinction l'expression de teinte cadavérique (que l'observateur connaissait pourtant très bien), mais parle seulement d'une teinte gris-blanc.

Ce sont les observations simultanées[1] de Berne, Oberbalm et Béatenberg qui nous révèlent l'influence des couches d'air, situées entre les Alpes et l'observateur.

Quant à la *coloration* elles montrent que les nuances rouges prédominent à mesure que l'observateur se trouve à une altitude moins haute et à une distance plus grande de la montagne observée, tandis que, pour les altitudes supérieures et les distances plus petites, les nuances jaunes se font remarquer davantage.

Il s'ensuit que *la longueur du chemin que les rayons réfléchis doivent parcourir jusqu'à l'œil de l'observateur augmente les*

[1]

Berne,	580 m	d'altitude,	à	environ	62 km	de	la	Jungfrau.
Oberbalm,	850 m	»	»	»	57 km	»	»	»
Béatenberg,	1150 m	»	»	»	24 km	»	»	»

nuances rouges de la coloration directe; et de même cette rougeur devient d'autant plus forte que les couches traversées sont plus bas, donc aussi plus denses.

Par ce fait l'*intensité* de la coloration en est aussi affectée. Plus les couches sont denses, plus l'intensité diminue ; par contre, pour des couches plus élevées, comme celles qui interviennent pour Oberbalm et Béatenberg, la distance ne joue plus un grand rôle et l'intensité paraît plutôt augmenter avec la distance, parce que la coloration en est d'autant plus brillante. Ainsi Berne a les intensités les moins fortes, Béatenberg donne les colorations les plus pures, mais Oberbalm indique le maximum d'intensité relative.

Remarquons enfin, pour détruire certains malentendus assez répandus, que nos observations démontrent clairement que *la coloration principale des Alpes ne dépend en aucune manière directement de la lumière pourprée.* Au contraire, les colorations extraordinaires que l'on observe parfois se produisent en général dans des conditions météorologiques (grande humidité, situation cyclonale, horizon nuageux) qui ne sont aucunement favorables au développement pur des lumières pourprées. Ceci n'exclut naturellement pas que, par un « temps très beau », il y ait en même temps un Alpenglühen et une belle lumière pourprée, mais indépendamment l'un de l'autre.

C. *La recoloration.* C'est un fait incontestable que la chaîne des Alpes, après avoir passé par une phase d'extinction très frappante, reprend normalement toujours de nouveau des teintes plus vives, nuancées de jaune, de rose ou de violet, et donnant parfois une recoloration très distincte. Celle-ci ne doit absolument pas être confondue avec les interruptions momentanées de la coloration directe, causées par un nuage interposé, et qui ont un caractère complètement différent de la vraie recoloration qui n'est pas due à l'illumination directe par les rayons du soleil.

Ici de nouveau, les observations du Faulhorn, pour lesquelles l'influence de la couche d'air entre les Alpes et l'observateur n'entre pas en jeu, donnent la solution désirée.

Nous résumons: *Dès que le dernier rayon du soleil a définiti-*

vement quitté la cime des Alpes, les surfaces neigeuses jouent, vis-à-vis du firmament entier qui les surplombe, le rôle d'une grande surface blanche, à réflexion diffuse; leur coloration ne peut donc être autre chose que la résultante des colorations diverses du ciel.

C'est pourquoi, au Faulhorn, l'observateur note en général dans la phase de l'extinction des nuances violettes, correspondant à la couleur bleu-violette du firmament. Les reflets de la couleur jaune du ciel au couchant se mêlent à ce violet et produisent la coloration gris-blanc qui ne se transforme que pour un observateur éloigné en cette teinte blafarde et impure que l'on désigne comme teinte cadavérique. En général, les observations de Berne et Oberbalm ne permettent nullement de constater ces teintes violettes; c'est de nouveau l'effet de la zone atmosphérique interposée qui absorbe les couleurs de courte longueur d'onde et ne laisse passer que les teintes jaunâtres et rougeâtres.

Quelques instants après l'extinction de la coloration principale, la lumière pourprée commence à se former au couchant, et immédiatement elle doit se refléter sur la neige et lui donner des nuances rouges qui, en s'unissant au violet, donnent la teinte classique rouge-violacée de la recoloration. Ici aussi il peut s'y mêler des nuances jaunes, très marquées, si le jaune des couches horizontales à l'ouest est très intense; c'est ce qui semble se produire en effet pour certaines observations simultanées de Berne et du Faulhorn.

La *relation étroite entre la lumière pourprée et la recoloration des Alpes ressort avec évidence de nos nombreuses observations.* En réunissant dans un tableau environ trente observations de recoloration des deux dernières années, nous trouvons (sauf deux ou trois exceptions) pour toutes ces soirées des lumières pourprées normales ou supernormales pour différentes stations de la Suisse.

Il est vrai qu'il n'est pas nécessaire que ce soit une lumière pourprée pure qui se reflète dans la recoloration des Alpes; ainsi le 25 janvier 1915 ce sont des colorations intenses de cirrus qui produisent la recoloration; mais cette rougeur des cirrus correspond naturellement à la lumière pourprée.

Cette corrélation résulte aussi du parallélisme du développement de la lumière pourprée et de la recoloration. Nous donnons ci-dessous, à l'appui de cette manière de voir, les moyennes mensuelles de nos observations, faites à Berne, dans les deux périodes non troublées de 1905-1912 et de 1915-1916.

DÉPRESSION SOLAIRE POUR LES PHASES SUIVANTES :

	Maximum de la lumière pourprée.	Fin de la lumière pourprée.	Commencement de la coloration.	Fin de la coloration.
Janvier	4°,0	5°,6	3°,1	6°,1
Février	3,7	4,9	2,7	5,5
Mars	3,7	5,2	2,9	5,3
Avril	3,7	5,0	2,5	4,7
Mai	3,8	5,1	2,4	4,9
Juin	3,7	5,0	2,8	5,8
Juillet	3,7	5,1	2,6	6,0
Août	4,0	5,6	2,8	5,5
Septembre	4,0	5,5	3,4	6,2
Octobre	3,9	5,2	3,3	4,5
Novembre	4,0	5,4	3,4	4,8
Décembre	3,8	5,2	2,8	5,2
Moyenne	3,8	5,2	2,8	5,4

Enfin, nous avons noté à Berne, de 1903 à 1913, quatorze recolorations très fortes ; à onze d'entre elles correspondent des lumières pourprées (ou des colorations de nuages à l'ouest) supernormales.

VI. — LA THÉORIE DES LUEURS CRÉPUSCULAIRES.

A. *Remarques générales.* C'est sur les questions théoriques que l'intérêt de l'auteur s'est concentré en premier lieu ; mais, à l'heure présente, cette théorie n'est encore qu'une ébauche bien incomplète qui n'a pas été développée mathématiquement et qui n'a pas encore pu être vérifiée, dans ses détails, par les observations. Néanmoins, notre théorie se base sur une étude

critique approfondie des théories antérieures et est, comme le lecteur attentif le remarquera, en bon accord avec les faits observés.

En ce qui concerne *le développement historique* de ces théories (dont nous avons déjà parlé dans notre article des *Archives* de mars 1914), nous ne relèverons que brièvement les points suivants: C'est L.-A. Necker qui, le premier, a exposé le point fondamental de notre propre théorie: le fait que la lumière pourprée n'est que la continuation de l'anticrépuscule, d'où il faut conclure que c'est bien *la réflexion diffuse* des rayons solaires par certaines couches atmosphériques qui y joue le rôle essentiel. Plusieurs auteurs parlent d'une *réflexion régulière* (Spiegelreflexion) qui aurait donc lieu à des surfaces de discontinuité dans l'atmosphère. L'existence de semblables discontinuités stables, pouvant produire une réflexion régulière, nous paraît assez problématique et conduit à des conséquences qui ne correspondent guère à la réalité. La théorie de Rayleigh, considérant l'atmosphère comme *un milieu trouble, formé par les molécules gazeuses elles-mêmes,* rend très bien compte de la couleur bleue du ciel ainsi que des colorations jaunes-rouges des rayons solaires qui traversent d'épaisses couches de l'atmosphère; elle parvient ainsi à expliquer d'une manière satisfaisante certains phénomènes crépusculaires, mais elle ne donne naturellement aucune raison pour la formation de la lumière pourprée. Ainsi, toutes les théories qui considèrent l'atmosphère comme milieu troublé et y appliquent les lois de réflexion et de réfraction (soit à des gouttelettes d'eau, soit à des cristaux de glace) ne parviennent pas à expliquer la lumière pourprée. Ce n'est que la *théorie de la diffraction* par de petites particules, formant une couche homogène, qui donne une solution de ce problème si important. Cette théorie a été très bien développée par von Lommel, Pernter, Kiessling, Riggenbach, et est directement confirmée par des expériences de laboratoire, mais elle ne réussit pas à démontrer la relation entre la lumière pourprée et l'anticrépuscule, et, pour l'explication de la lumière pourprée secondaire, elle doit pourtant avoir recours à la réflexion diffuse.

Cherchant dans ces différentes théories tout ce qui nous paraissait juste, et y ajoutant nos propres idées, nous avons

essayé d'en faire une synthèse, dont nous ne donnons ici que les lignes principales.

B. *L'atmosphère idéalement pure.* Si nous pouvions considérer l'atmosphère comme un mélange gazeux absolument pur, les phénomènes de coloration du ciel seraient uniquement déterminés par la loi de Rayleigh, d'après laquelle *chaque molécule disperse les rayons solaires qui l'atteignent dans toutes les directions avec une intensité variable.* Cette variation dépend, d'une part, de l'angle φ que la direction du rayon dévié forme avec celle du rayon incident, d'autre part, de la longueur d'onde λ considérée; l'intensité est alors proportionnelle à $(1 + \cos^2\varphi) / \lambda^4$.

Chaque rayon dévié subissant de nouveau une série de dispersions semblables, il se produit pour lui une *extinction* progressive, conforme à la règle suivante: *Plus un rayon, primitivement blanc, pénètre dans l'atmosphère, plus il perd en intensité et plus il se colore en même temps, d'abord d'une teinte jaune, puis orange, puis rouge-orange, enfin rouge-foncé et peu à peu il perd ces dernières lueurs rouges et s'éteint tout à fait.*

Pour déduire de ces lois générales l'aspect qu'une partie déterminée du ciel nous donne, il faut se rendre compte que *cet aspect résulte de la somme des illuminations de toutes les molécules* situées sur le rayon visuel de l'observateur et s'alignant de son œil jusqu'aux derniers confins de l'atmosphère. Chacune de ces molécules envoie dans l'œil une certaine lumière colorée, déterminée par la loi de Rayleigh, mais cette lumière subit, avant d'arriver à l'observateur, une extinction suivant la loi ci-dessus indiquée, qui est d'autant plus forte que la molécule considérée est plus éloignée. En appliquant cette règle, on peut déduire les colorations générales du ciel; il doit paraître bleu durant la journée, mais, vers le soir, lorsque les rayons du soleil doivent traverser d'épaisses couches atmosphériques, ils ne conservent, par suite de l'extinction, que leurs teintes jaunes et oranges; et, en passant au-dessus de l'observateur jusqu'aux couches les plus éloignées de l'horizon oriental, ces rayons deviennent de plus en plus rougeâtres, sont en partie réfléchis en arrière et, s'ajoutant au bleu très faible que le ciel oriental présente, produisent une coloration rouge-violette,

parfois très intense. C'est ainsi que se formeraient, dans un air très pur, *les colorations jaunes-orangées des couches horizontales à l'ouest* et le *ruban pourpre de l'anti-crépuscule à l'est.* Grâce enfin à l'extinction très forte de la zone de l'atmosphère située immédiatement au-dessus du sol terrestre, les rayons du soleil qui passent près de lui disparaîtraient peu à peu complètement et ne parviendraient plus à illuminer la partie inférieure du ciel oriental. C'est par ces considérations très simples que s'explique la formation de *l'ombre de la terre* et le fait, au premier abord surprenant, que cette ombre s'élève bien plus rapidement à l'est que le soleil ne s'abaisse à l'ouest.

C. *L'atmosphère troublée.* L'atmosphère n'est en réalité jamais pure, au contraire, elle contient une infinité de particules de tout genre et de dimensions très différentes qui y sont suspendues dans un équilibre plus ou moins stable. Dès que ces particules dépassent une certaine dimension (environ 0,0001 cm), la loi de Rayleigh n'y est plus applicable. Les particules forment alors de vrais petits corps, opaques ou transparents, par lesquels les rayons du soleil sont réfléchis, réfractés, absorbés et diffractés, selon les lois bien connues de l'optique. Vu notre peu de connaissance au sujet de ces particules, il n'est guère possible d'établir une théorie complète des phénomènes de coloration qu'elles produisent, aussi renonçons-nous à entrer dans ces considérations. Nous rappellerons seulement que *les effets de réflexion et de réfraction* sur des gouttelettes d'eau et sur de petits cristaux de glace, répartis irrégulièrement dans l'atmosphère, rendent compte de la « lueur transparente » et en général des variations de l'illumination de la voûte céleste pour ses différentes parties. Clausius, Roth, Ch. Wiener [1] et d'autres ont développé des théories à ce sujet avec des approximations plus ou moins justifiées. Si l'on tient compte de la *diffraction* que produisent des particules homogènes de petite dimension, les théories de Lommel et autres (citées p. 106) donnent une explication complète du cercle de Bishop et s'appliquent aussi à

[1] Clausius, R. *Poggendorf's Annalen,* 16, p. 161, 1849.
Roth, F. *Meteorolog. Zeitschrift,* 2, p. 52, 1885.
Wiener, Ch. *Nova acta Leop. Carol,* 73 et 91, 1907-09.

la formation de la lumière pourprée, spécialement au cas où celle-ci se développe en un bel et large demi-cercle de couleur rose.

Mais, en général, l'ensemble de ces effets optiques, s'exerçant sur des couches entières d'innombrables particules, produit un phénomène de dispersion et d'extinction des rayons incidents du soleil que nous nommons précisément *la réflexion diffuse* et qui suit une loi d'un caractère quelque peu analogue à celle de Rayleigh.

Pour cette *réflexion diffuse,* ou *diffusion* tout court, se formant dans des couches de particules plus grandes que 0,0001 cm, nous pouvons formuler les lois générales suivantes :

1. La lumière incidente est diffusée par chaque particule dans toutes les directions, mais avec une intensité variant avec la direction : elle présente un maximum dans la direction non-déviée et un minimum dans la direction perpendiculaire à celle-ci.

2. L'intensité de la lumière diffuse est à peu près inversement proportionnelle au carré de la longueur d'onde ($\sim 1/\lambda^2$).

3. Chaque rayon traversant une couche semblable y subit une extinction : son intensité diminue avec la longueur du trajet parcouru et sa coloration prend peu à peu des teintes variant du jaune au rouge, jusqu'à ce qu'enfin il s'éteigne complètement ; mais ces teintes sont beaucoup moins prononcées que pour l'extinction dans l'atmosphère pure suivant la loi de Rayleigh.

Ici aussi l'aspect du ciel, pareillement troublé, se déduira pour chaque direction du rayon visuel, en faisant la somme de la lumière diffusée par chaque particule, située dans cette direction, et en ayant égard à l'extinction que cette lumière subit sur son chemin.

D. *Colorations produites par une couche homogène de particules.* Nous ne considérons qu'un cas spécial de l'atmosphère troublée, le plus simple, dont les cas plus compliqués peuvent d'ailleurs être déduits logiquement.

A une hauteur donnée (10 à 20 km) nous admettons l'existence d'une couche homogène de densité et d'épaisseur constante (peut-être 1-2 km d'épaisseur), concentrique à la surface terrestre. Quel sera l'effet de coloration qu'elle donne aux rayons du soleil qui la traversent et quel sera l'aspect qu'elle présente à des observateurs placés dans des endroits différents ?

1. *La coloration de la couche et des rayons solaires.* Les rayons du soleil, formant un faisceau parallèle (voir fig. 6, p. 111) SS qui est tangent à la surface terrestre AB au point C, traversent une première fois la couche homogène, *ah*, et y éprouvent une extinction, accompagnée de coloration, qui sera d'autant plus accentuée que la couche sera plus dense et que les parcours des différents rayons à travers la couche seront plus longs. On conçoit donc aisément que les rayons traversant *ab* seront colorés en jaune, ceux traversant *bc* en orange, *cd* en orange-rouge, *de* enfin en rouge foncé très affaibli, l'intensité diminuant de plus en plus ; enfin en *ef* l'extinction aura produit une absorbtion complète; cependant il faut remarquer que dans beaucoup de cas la couche ne sera pas en état d'absorber tout à fait les rayons solaires, et alors la coloration se fera jusqu'au point *f*, le plus élevé de la couche. Mais en tout cas, le faisceau des rayons solaires passant par l'atmosphère entre la couche et la surface terrestre, sera coloré dès l'abord, soit sur toute sa section, soit seulement dans sa partie inférieure de *a-e*. Cette conséquence théorique se trouve en plein accord avec le résultat de nos observations photométriques qui indiquent, en effet (p. 29) que la coloration des rayons solaires ne se produit pas là où la lumière pourprée apparaît, mais déjà longtemps avant. Ce faisceau coloré, continuant son trajet dans l'air situé au-dessous de la couche *ah* (que nous supposons idéalement pur) subira une extinction selon la loi de Rayleigh faible quant à l'intensité, mais sensible quant à la coloration. Arrivant ainsi pour la seconde fois vers la couche en *gh*, ces rayons, colorés en un rouge plus foncé, y subiront *une réflexion diffuse très accentuée,* de sorte que ces lueurs rouges seront renvoyées, en bas, dans toutes les directions vers la surface terrestre (et naturellement aussi en haut, ce qui ne nous intéresse pas pour le moment). *Ce sera cette partie gh de la couche homogène, illuminée de nuances orangées à rouges diffuses qui apparaîtra, tantôt comme anti-crépuscule, tantôt comme lumière pourprée.*

2. *L'aspect de la couche colorée.* Il va de soi qu'un observateur placé aux environs de C verra la partie *ae* dans une coloration diffuse, jaune à orangée, pas très brillante (vu qu'il ne faut pas la confondre avec les couleurs très marquées que les rayons so-

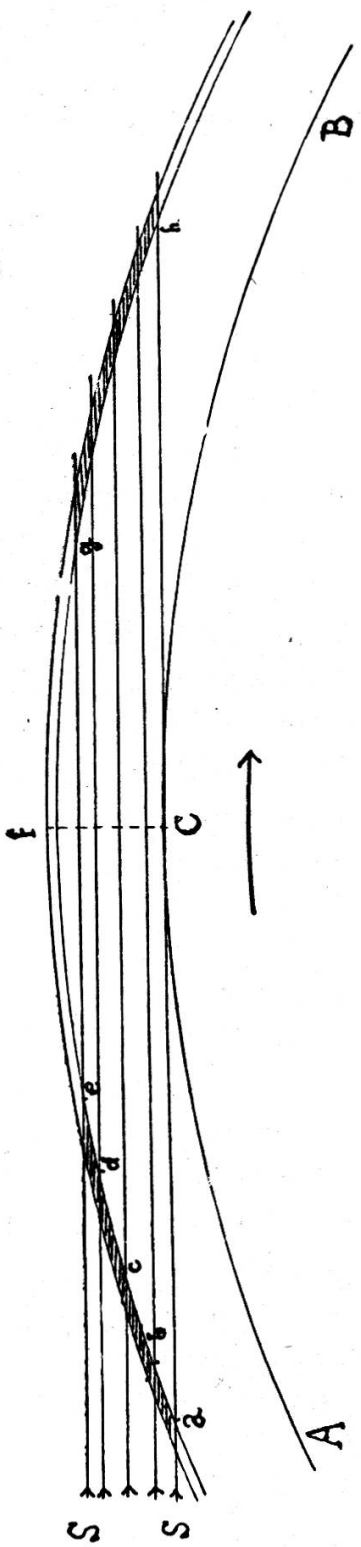

Fig. 6.

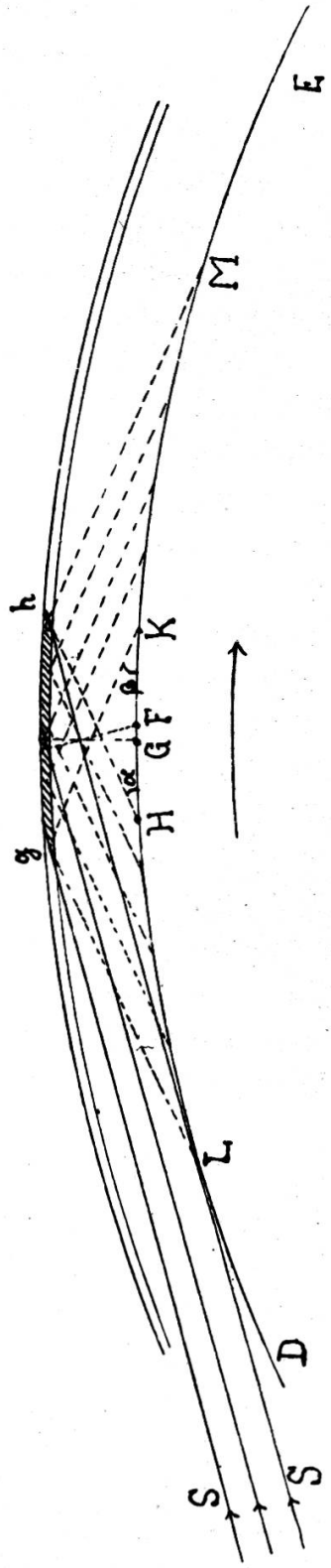

Fig. 7.

laires eux-mêmes possèdent en *ae*; l'observateur ne voit pas ces rayons, mais seulement l'illumination de la couche *ae*); cette coloration, se mêlant encore au « bleu du ciel » de l'atmosphère pure qui s'élève bien au-dessus de notre couche de pertubations, formera à l'horizon occidental les couches horizontales jaune-orangées bien connues. Quant à la zone *efg,* non illuminée, elle ne formera néanmoins pas un écran opaque, mais elle restera tout simplement invisible, étant formée de particules que notre œil ne peut pas voir directement. L'observateur en C verra donc au-dessus de lui le bleu zénithal s'étendant de tous les côtés, et ce n'est qu'avec des instruments très sensibles qu'il pourra peut-être constater l'existence d'un très faible voile, causé par la zone *efg*. Par contre, la zone *gh* paraîtra fortement illuminée, et c'est sur elle que va se concentrer maintenant notre intérêt.

Pour bien nous rendre compte du développement ultérieur du crépuscule et des rapports de l'anticrépuscule avec la lumière pourprée, considérons (voir fig. 7, p. 111) l'effet de cette zone *gh* produit sur différents observateurs, placés entre D et E, pour lesquels le soleil se trouvera à des dépressions différentes, et qui de ce fait observent les phases consécutives du crépuscule. Pour cela, il s'agit de bien appliquer la loi fondamentale de la diffusion de la lumière (p. 109), d'après laquelle son intensité a un maximum dans la direction des rayons primaires incidents et un minimum dans la direction perpendiculaire. Il s'ensuit que la couche *gh,* quoique fortement illuminée, pourra rester complètement invisible dans une direction normale aux rayons solaires incidents, si cette direction coïncide aussi avec le minimum de l'épaisseur de la couche; tel sera le cas pour un observateur placé en F ou en G, et aussi dans le voisinage de ces deux points, jusque vers H et K; la couche y restera encore imperceptible et l'observateur placé entre H et K croira voir au-dessus de lui le ciel bleu tel quel. Mais, en s'éloignant de F et G à droite ou à gauche, il y aura une position (justement H et K dans notre figure), où le rayon visuel de l'observateur traversera la couche illuminée à une épaisseur suffisamment grande et où l'intensité de la lumière, diffusée obliquement par rapport aux rayons solaires, sera assez forte pour devenir visible; il y aura donc des

angles limites, α et β [1], qui sépareront les emplacements pour lesquels un observateur ne remarque pas la couche illuminée, étendue au-dessus de lui, de ceux pour lesquels il perçoit distinctement la coloration.

Les lignes pointillées de la fig. 7, partant de la zone *gh* sous les angles α et β, font immédiatement entrevoir comment nos observateurs conçoivent ces colorations. Ceux qui se trouvent entre L et H les voient à leur droite, c'est-à-dire à l'orient, où elles leur apparaissent comme *lueurs anticrépusculaires;* les observateurs placés entre H et K ne remarquent pas de coloration ; ceux qui se trouvent entre K et M aperçoivent la zone *gh* à leur gauche, c'est-à-dire à l'occident, resplendissante de belles lueurs roses à rouge-violettes, formant la *lumière pourprée.* Il est clair que les rayons diffus, inclinés sous un angle plus oblique que l'angle limite (α et β) donnent une coloration visible, de sorte que ce n'est pas seulement entre H et L (du côté gauche), mais jusque vers D, et de même au delà de M (du côté droit) jusque vers E que la zone colorée *gh* sera perçue.

Considérons maintenant un seul observateur qui, dans le courant d'une soirée, passe successivement, par suite de la rotation terrestre, de D à L, H, G, F, K, M et E, tandis que la zone *gh* paraît rester immobile [2]. En D il verra s'élever au-dessus de l'horizon oriental, les premières rougeurs de la zone *gh* jusqu'à ce qu'elles aient atteint leur maximum de hauteur, sous l'angle α, quand l'observateur se trouve en L. Dès ce moment cet *anticrépuscule* ne s'élève plus davantage, mais, au bas, l'observateur plonge au-dessous de *h* dans la région non illuminée et voit ainsi surgir l'*ombre de la terre.* Arrivé en H le ruban anticrépusculaire va être définitivement englouti par cette ombre, et, sur le parcours de H à K, notre *observateur ne constate plus aucune rougeur,* si ce n'est les colorations jaunâtres à l'horizon au couchant, dont nous avons déjà parlé. Mais en K, où l'angle

[1] La valeur de ces angles dépendra de l'épaisseur et de la densité de la couche *gh,* de son inclinaison vis-à-vis des rayons solaires, de la nature des particules, etc., mais pour chaque soirée elle sera bien déterminée.

[2] De fait la couche illuminée prend naturellement aussi part à la rotation terrestre ; mais pour une couche homogène et concentrique, la partie illuminée restera toujours immobile *relativement aux rayons du soleil* SS.

limite β entre en jeu, l'observateur commence à apercevoir justement les premières parties (encore bien peu étendues et assez affaiblies par l'éclat du ciel du couchant) d'une nouvelle rougeur, à une certaine hauteur (angle β) au-dessus de l'horizon occidental; c'est *le commencement de la lumière pourprée.*

3. *La lumière pourprée.* Il semblerait que, contrairement aux observations, le même phénomène que nous avons décrit pour l'anticrépuscule se répète en sens inverse: dans ce cas la lumière pourprée maintiendrait sa limite supérieure à un angle invariable β, et l'observateur, passant de K à M, verrait seulement un développement de la lumière pourprée vers le bas et non pas vers le haut. Cette divergence n'est qu'apparente et s'explique si l'on tient compte de ce que la zone *gh* diffuse aussi la lumière vers le haut, au-dessus de la couche troublante. Cette lumière diffusée en haut pénètre dans l'atmosphère pure et l'illumine à son tour sensiblement. De la sorte il se forme *au-dessus* de *gh* une zone illuminée secondaire qui, elle aussi, renvoie de la lumière diffusée vers l'observateur. On entrevoit facilement qu'il en résulte apparemment un épaississement de la zone *gh* et par conséquent une augmentation de l'angle limite β. Donc, en tournant avec la terre de K à M, l'observateur verra la lumière pourprée s'étendre aussi vers le haut, arriver à un maximum d'étendue verticale, puis se rétrécir de nouveau et enfin, arrivant vers E, la zone *gh* disparaît derrière l'horizon occidental, et la lumière pourprée est complètement éteinte. Nous ne pouvons donner que sommairement ces indications qui exigeraient des développements et des figures compliqués, mais de fait elles sont en bon accord avec les observations.

Remarquons cependant que dans toute cette argumentation nous n'avons pas eu égard à la *diffraction,* qui pourtant doit toujours se produire distinctement dans des couches homogènes telles que nous les avons supposées. Mais il est facile de voir que l'effet de diffraction se superpose tout naturellement à l'effet de diffusion.

Durant la journée, cette diffraction produira autour du soleil une auréole brillante, bordée par un cercle large et diffus d'une couleur rouge-brune, le *cercle de Bishop.* Celui-ci devra donc être visible dès que la couche troublante sera assez dense et en

même temps bien homogène. Vers le soir, les rayons solaires, traversant la zone *ae* (fig. 6) y seront fortement colorés et le cercle de Bishop en subira certaines transformations. M. Riggenbach a clairement exposé ce genre de transformation, dont le résultat est le *cercle brun de Riccò*. Plus tard, lorsque la partie *efg* de la couche apparaît à l'observateur sous l'angle qui correspond au maximum de la diffraction, celui-ci ne peut plus se former, puisque les rayons solaires y sont absorbés. De fait, on observe souvent une disparition du cercle brun quelque temps avant la formation de la lumière pourprée; de semblables observations confirmeraient donc notre hypothèse de l'existence de cette partie *efg* non illuminée.

Si maintenant le soleil a atteint la dépression pour laquelle ses rayons diffractés en *g* arrivent pour la première fois vers l'observateur[1], celui-ci verra la formation d'un demi-cercle dont la coloration varie du rose au rouge-brun qui ne sera autre chose que la lumière pourprée. Mais cette lumière, produite par diffraction, se superposera à celle produite par diffusion, et il dépendra essentiellement de la grandeur relative de l'angle limite β de diffusion et de cet angle de diffraction que l'effet de diffusion soit visible avant ou après celui de diffraction. Dans le premier cas, le développement de la lumière pourprée sera tel que nous l'avons décrit précédemment; la diffraction ne fera qu'augmenter l'intensité de certaines parties de la lumière pourprée, elle influera peut-être un peu sur sa forme, mais elle ne produira pas de phénomène spécial séparé des lueurs diffusées. Dans le second cas la lumière pourprée diffractée, en forme de demi-cercle, se formera d'abord (et les observations montrent bien quelquefois ce développement initial, voir p. 10) mais sera bientôt submergée par la lumière diffusée et se développera ensuite comme dans le premier cas.

Ainsi, en admettant pleinement les effets de diffraction, il nous semble que l'explication complète des lumières pourprées exige nécessairement la mise en considération de la diffusion,

[1] La diffraction a lieu sous des angles strictement déterminés par la nature des particules, et ne peut être observée que pour des positions de l'observateur correspondant à cet angle.

et que celle-ci joue même le rôle principal dans leur formation.

E. *Remarques finales.* Ce rôle de la diffusion ressort surtout comme essentiel dans la théorie de la *lumière pourprée secondaire.* On est unanimement d'accord de considérer cette lumière comme un effet de réflexion (qui ne peut être qu'une réflexion diffuse) de la lumière pourprée principale sur une couche atmosphérique. Il est clair que dans notre théorie ce phénomène s'explique tout naturellement; mais pour les représentants de la théorie de la diffraction pure, ils se trouvent toujours dans la difficulté d'expliquer cette couche réfléchissante qui veut bien servir à réfléchir la première lumière pourprée, mais qui ne semble pas du tout en état de réfléchir les rayons solaires directs !

Dans nos études théoriques nous avons encore étudié, très sommairement, l'effet que produit une couche homogène troublante qui n'est pas concentrique à la surface terrestre, mais qui formerait un ellipsoïde de rotation aplati avec axe correspondant à l'axe de la terre. Nous ne pouvons indiquer ici tous ces développements qui d'ailleurs ne présentent aucune difficulté; nous nous bornons à indiquer simplement qu'*un pareil défaut de parallélisme entre la surface terrestre et la forme de la couche produit des anomalies de forme de la lumière pourprée,* en ce sens que celle-ci se trouve légèrement déplacée relativement au soleil : le soir en sens inverse de la marche apparente du soleil, le matin dans le même sens. C'est bien ce qui correspond aux observations de M. le Dr Schmid à Oberhelfenswil (voir page 17).

Nous terminons ici le résumé de notre travail, en laissant de côté maint petit détail et en rappelant que ce travail n'est qu'un premier commencement dans ce beau domaine des phénomènes crépusculaires; nous espérons qu'il encouragera encore beaucoup de naturalistes à s'en occuper dans l'avenir.

Berne, 26 octobre 1917.