

Les rayons corpusculaires du soleil qui pénètrent dans l'atmosphère terrestre sont-ils négatifs ou positifs?

Autor(en): **Birkeland, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **41 (1916)**

PDF erstellt am: **15.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-742625>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LES

RAYONS CORPUSCULAIRES DU SOLEIL

QUI PÉNÈTRENT DANS L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE

SONT-ILS NÉGATIFS OU POSITIFS ?

PAR

R. BIRKELAND

Introduction

§ 1. M. le prof. Störmer a publié récemment dans le *Terrestrial magnetism* ⁽¹⁾ de très jolis résultats tirés de sa seconde série de photographies boréales prises pendant les quelques semaines qu'il passa au village de Bossekop, qui est devenu si célèbre depuis l'expédition de Bravais.

M. Störmer est le premier à avoir employé dans ce but des lentilles cinématographiques, et par ce moyen simple et nouveau il a obtenu des résultats très importants, plus précis et plus complets que ceux obtenus par les observations parallaxiques directes des aurores boréales ; il lui a été possible, pour ainsi dire de photographier une aurore boréale aussi facilement qu'une maison.

L'observatoire du Mont Haldde, que j'ai construit, et dont M. Krogness ⁽²⁾ mon ancien assistant est aujourd'hui directeur, photographie de cette manière presque chaque fois que cela est possible, les belles aurores boréales qui se présentent, en continuant à le faire année après année pendant une période de

¹⁾ Mars 1915.

²⁾ Krogness und Vegar, Höhenbestimmung des Nordlichts. *Videnskaps Selskap ets Skrifter*, N° 11 Kristiania 1914.

taches solaires entières pour en publier les résultats au fur et à mesure.

M. Störmer termine sa publication en se demandant si les rayons de l'aurore boréale sont produits par des corpuscules positifs ou négatifs et il croit pouvoir prouver qu'il s'agit de particules électriques chargées positivement.

Je pense que le raisonnement qui conduit le prof. Störmer à cette conclusion est certainement inexact à cause de la manière dont il traite les orages magnétiques polaires. J'ai déjà traité ce sujet dans mon ouvrage : Cause des orages magnétiques terrestres, p. 609. Expédition Norvégienne pour l'étude des aurores boréales polaires 1912-13, dont j'aurais souvent à faire mention dans la suite et que je désignerai pour simplifier par aurore polaire ou A. P.

Si les termes dont je me suis servi (loc. cit.) sont modérés, ma conviction sur ce point principal de ma théorie n'en est pas moins forte. J'ai acquis cette conviction au cours de 18 années d'études générales sur ce sujet et spécialement à la suite d'analyses comparées des résultats d'expériences faites sur la *terrella* ⁽¹⁾ (A. P. p. 580-571) d'une part et d'autre part d'observations d'orages magnétiques polaires positifs et négatifs. (A. P. 536-540). Il ne faut pas oublier qu'en voulant soutenir la théorie que les rayons des aurores boréales et les orages magnétiques polaires sont généralement dus à des rayons corpusculaires d'origine solaire, il faut sciemment éliminer un fait très important qu'il est impossible de passer sous silence : c'est qu'en général les orages polaires positifs se produisent l'après-midi, les aurores boréales le soir et les orages polaires négatifs dans la nuit avec un maximum d'intensité juste après minuit.

Si ces phénomènes étaient généralement dus à des rayons positifs d'origine solaire directe, ils se produiraient d'une manière symétrique à celle décrite, mais du côté du levant de la terre et non à son couchant.

Un autre fait important doit être mentionné : La statistique

¹⁾ Nous désignerons dans ce qui suit par *terrella* un petit globe terrestre ayant servi aux expériences. Voir K. Birkeland, *Arch. des Sc. phys. et nat.*, t. XXXIII, 1912, p. 32 et suiv.

de toutes les perturbations enregistrées durant mon expédition de 1902-1903 dans les quatre stations de Matotchkin Schar, Kaafjord, Axelöen et Dyrafjord a démontré qu'il y a dans la journée une période de calme presque absolu, lorsque de très petites forces magnétiques sont seules en jeu. (Voir A. P., Tab. XCIV et XCVI p. 537 et 539). Pour Matotchkin Schar et Kaafjord qui se trouvent à la limite inférieure de la zone des aurores, cette période de calme a lieu respectivement entre 7 et 14 h. et entre 6 et 17 h. de l'heure de l'endroit.

Pour les autres stations qui sont beaucoup plus élevées, cette période est beaucoup plus courte et les forces agissantes sont plus grandes.

Ces résultats correspondent exactement avec la précipitation de rayons cathodiques sur la terrella (Voir A. P. fig. 219 p. 598). L'aimantation de la terrella est si forte dans ce cas, que la zone de précipitation correspond exactement avec la zone terrestre de l'aurore boréale. On voit qu'il n'y a pas de rayons éclairant la terrella depuis 6 h. ou 7 h. jusqu'à environ 14 h. pour les stations situées au bord inférieur à la précipitation, mais que les stations situées à une latitude plus élevées auront une période calme plus courte. Il semble après cela que si des rayons positifs pénètrent dans l'atmosphère terrestre *c'est à peine s'ils peuvent donner lieu à un effet magnétique perceptible, parce que leur action devrait précisément être un maximum pendant la période que nous avons reconnu être absolument calme.*

Mais dans les espaces cosmiques, les rayons polaires positifs qui existent probablement et même certainement ne semblent pas s'approcher assez de la terre pour qu'on puisse affirmer leur présence dans notre atmosphère. Il serait d'un grand intérêt d'effectuer des observations au levant de la terre sur ce phénomène, et de prouver par là l'existence de rayons solaires positifs; en ce qui me concerne je n'ai jamais rien pu observer de ce genre.

Avant d'entrer dans le détail de la discussion des théories des aurores boréales, et de démontrer l'erreur du raisonnement du prof. Störmer, je désire communiquer brièvement quelques nouveaux faits destinés à faire la lumière sur toute cette question de l'émanation des rayons de corpuscules du soleil dans l'espace.

Enregistrement de l'intensité de la lumière zodiacale

§ 2. Il m'est précisément possible actuellement de donner le résultat expérimental de recherches sur la lumière zodiacale effectuées simultanément au nord et au sud de l'Afrique par moi-même et par mon assistant M. K. Devik. Ces résultats démontrent d'une manière tout à fait concluante l'existence d'une puissante émission équatoriale permanente de rayons corpusculaires émanant du soleil sous forme d'un disque circulaire un peu aplati; j'avais d'ailleurs supposé qu'il en était ainsi dans ma théorie sur la lumière zodiacale et j'avais été amené à cette hypothèse par des analogies expérimentales ⁽¹⁾.

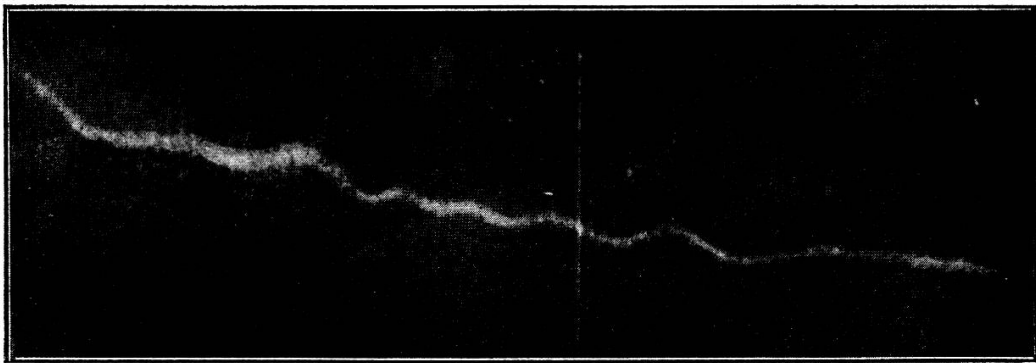
Au point de vue physique, il est très probable que ces nouveaux rayons solaires ne sont exclusivement ni des rayons positifs ni des rayons négatifs, mais sont des rayons des deux sortes. Les observations sur la lumière zodiacale mentionnés ci-dessus avaient pour but d'enregistrer son intensité par la photographie, pour voir s'il nous serait possible d'y découvrir des variations. L'enregistrement était obtenu en exposant à la lumière zodiacale un appareil d'Elster et Geitel qui était relié à un électromètre à torsion de Cromer, du modèle de ceux employés récemment pour la mesure de l'intensité de la lumière des étoiles. Lorsque mes recherches seront terminées je les publierai in « extenso », et si je ne désire en aucune façon en donner les résultats d'une façon anticipée, je veux cependant donner ici à une échelle réduite l'une des premières courbes enregistrées à Helouan le 16 mars 1915 par un temps tout à fait clair, entre 7 h. 19 et 8 h. 35, heure égyptienne.

La courbe n'est pas très bonne, mais elle montre de fortes oscillations dans la lumière zodiacale. Fréquemment les courbes avaient une certaine continuité mais le plus souvent elles présentaient des perturbations plus fréquents mêmes que celle que nous reproduisons.

¹⁾ Voir « Aurora Polaris » p. 611-631 et *C. R. Ac. Sc. Paris*. 6 févr. 1911, 20 juillet 1914, 31 août 1914, 14 sept. 1914, ces deux derniers en collaboration avec M. Skolem.



Parfois, mais très rarement, la courbe de l'intensité de la lumière présentait quelque analogie avec une courbe d'intensité magnétique horizontale enregistrée simultanément; d'autres fois au contraire il n'y avait aucune analogie. Ce n'est pas facile à comprendre puisque cette partie du disque de rayons qui entourent le soleil et que nous avons étudiée avec la chambre noire d'Elster et Geitel est absolument différente de celle qui contient les rayons se dirigeant vers la terre et y provoquant les perturbations magnétiques. Les oscillations enregistrées par la photographie dans la lumière zodiacale rappellent le souvenir du maître-observateur de ce phénomène, le Rev. George Jones, qui publia ses résultats principaux dans le 3^{me} volume du « Rapport de l'Expédition des Etats-Unis au Japon 1856. C'est lui qui le premier



7 h. 19 m.

8 h.

8 h. 35 m.

Fig. 1. — Courbe de l'intensité de la lumière zodiacale.

établit d'une manière certaine des oscillations dans la lumière zodiacale, et c'est pourquoi je propose de les appeler les « oscillations de Jones ». Elles sont de la plus haute importance théorique, parce qu'il ne peut-être mis en doute que des observations de ce genre prouvent la nature électrique du phénomène, qui donne naissance à la faible lumière que nous appelons la lumière zodiacale. J'ai maintenant clairement prouvé par des analogies expérimentales la possibilité de l'existence physique d'un disque de rayons autour du soleil comme le suppose ma théorie de la lumière zodiacale. L'expériences suggestive, figurée à la P. 667 et 669 de l'Aurora Polaris en donne une illustration

suffisante, mais je reproduis encore ici une bonne photographie d'une expérience postérieure de la même nature.

Nous avons vu comment autour de la sphère magnétique qui sert de cathode, il se forme un faisceau de rayons dans le plan de l'équateur magnétique. Je suppose qu'un faisceau pareil, mais de dimensions considérables, se trouve autour du soleil et tourne avec lui à cause de la manière dont il a été formé. On

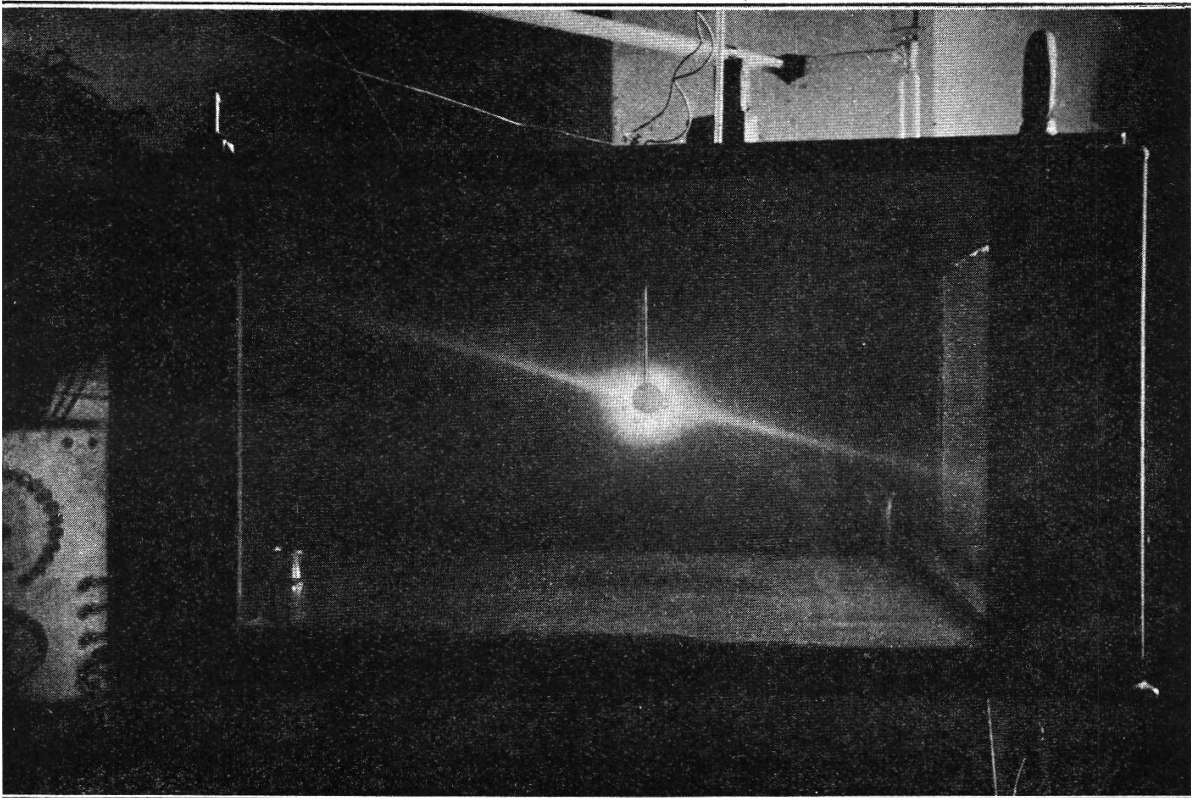
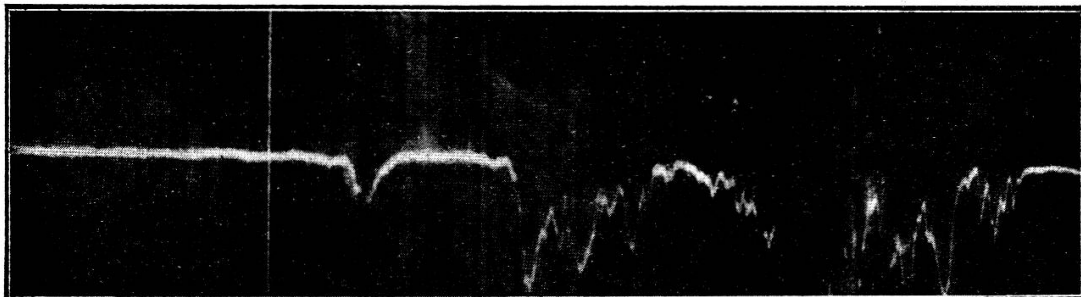


Fig. 2. — Lame de rayons corpusculaires dans le plan de l'équateur magnétique d'une sphère magnétique servant de cathode.

peut s'attendre à ce que la rotation de ce disque immense soit facilement reconnue par des observations, parce que l'on ne peut guère concevoir que ce disque soit homogène tout le tour du soleil dans le plan de l'équateur. Il y a d'ailleurs des phénomènes observés chaque mois, qui semblent en parfaite harmonie avec cette hypothèse. L'observatoire de Haldde a enregistré d'une façon continue les éléments magnétiques et a reconnu une période bien marquée et presque mensuelle de ces éléments

avec pourtant quelquefois des discontinuités. Le directeur de l'observatoire, M. Krogness, m'informe que la période pour 1913 est de 27,3 jours. L'on observe cette période régulièrement, qu'il y ait des taches solaires ou non; elle est bien marquée aussi bien pour un minimum que pour un maximum des taches solaires. Ce fait considéré avec ma théorie des orages polaires magnétiques appuie l'idée que l'immense disque de rayons autour du soleil tourne toujours avec lui. Dans mon ouvrage A. P., p. 623, j'ai mentionné quelques faits connus au sujet du pouvoir de la matière radiante d'absorber et de diffuser la lumière solaire. Il est concevable que les rayons héliocathodiques lors de leur collision avec des ions dans l'espace cosmique produisent un grand nombre d'électrons de dispersion qui peuvent être entraînés et se trouver en résonance avec les ondes lumineuses provenant du soleil. Il est probable que c'est de cette manière que le disque de rayons corpusculaires autour du soleil nous est visible comme une lumière zodiacale.



8 h. 10

8 h. 25

8 h. 15

Fig. 3. — Courbe de l'intensité de la lumière de Saturne partiellement voilée par de légers nuages.

Reportons-nous un instant à la courbe d'intensité de la Fig. 1. En collaboration avec M. Knox-Shaw, directeur de l'observatoire d'Helouan, nous avons enregistré quelquefois l'intensité de la lumière de Saturne à l'aide du réflecteur de trente pouces, dans le but de voir de quelle manière la transparence de l'atmosphère influençait les courbes d'intensité de la lumière.

Les courbes de Saturne ont une trajectoire presque horizontale et sont tout à fait unies lorsque le temps est calme.

La fig. 3 représente une courbe enregistrée le 11 avril 1915,

de 8 h. 10 à 9 h. 15, heure d'Égypte, la soirée fut d'abord claire, puis plus tard de légers nuages apparurent dans le ciel en sorte que la lumière de la planète fut partiellement voilée.

Le but principal de ces expériences sur Saturne était de voir si nous pouvons découvrir de petites variations dans l'intensité lumineuse de l'anneau correspondant à ce que nous avons trouvé pour la lumière zodiacale.

Nous n'avons pas réussi à trouver des variations de ce genre. Mais avec le réflecteur le plus grand qui existe, et avec une disposition meilleure de la chambre noire et de l'électromètre, il serait facile d'avoir des déviations trente fois plus grandes que celles que nous observions. Les courbes d'intensité de Saturne, s'il était possible d'éliminer complètement la lumière de la planète, pour ne faire agir que celles de l'anneau seraient d'un grand intérêt scientifique.

*Des causes des grands changements climatiques
de la période tertiaire*

§ 3. Les variations dans l'intensité des courbes de la lumière zodiacale, sont, comme cela a été mentionné, d'une très grande importance pour la théorie, parce qu'elles prouvent immédiatement la nature électrique du phénomène. J'estime que la lumière zodiacale est le signe visible d'un phénomène actuellement rudimentaire qui, dans un temps très reculé, était beaucoup plus développé. Je pense que le disque de rayons corpusculaires autour du soleil s'étendait autrefois avec une densité considérable jusqu'à l'orbite de Neptune, ou même plus loin. Aujourd'hui nous ne pouvons voir le disque de rayons que juste en dehors de l'orbite terrestre comme l'ont démontré les observations sur la lumière zodiacale.

J'eus l'idée d'examiner si un immense disque semblable de matière radiante, chargé de ions positifs et négatifs continuellement émis par le soleil à peu près de la même manière dont on suppose que se fait l'émanation des électrons, pourrait ras-

sembler et former différents anneaux matériels composés de particules non concrètes. Ce problème est discuté à fond dans A. P. p. 67 à 72 (1).

Je veux maintenant mettre en discussion une question importante relative à ce disque de rayons, presque permanent autour du soleil, dont les variations en intensité ont été maintenant enregistrées par la photographie.

Est-il possible que les grandes variations climatériques sur la terre, survenues pendant la période tertiaire soient dues aux rayons de soleil corpusculaires récemment découverts ?

Au début de la période tertiaire, avant le grand âge de glace, les figuiers, les palmiers et les magnolias semblent avoir été la caractéristique de latitudes aussi élevés que le Grœnland et le Spitzberg dont les côtes sont aujourd'hui occupés presque toute l'année par les glaces (2). Le climat chaud de ces régions est d'autant plus remarquable que la végétation à la même époque du Japon, du Kamtchatka et d'autres parties du nord-est de l'Asie indique une température passablement plus froide que celle d'aujourd'hui.

« Comme le Grœnland et le Japon sont situés du côté opposé du pôle, on a émis l'hypothèse que le pôle a dévié depuis cette période. » Cette théorie ne peut cependant être acceptée sans difficultés, et il faut chercher l'explication ailleurs. Il y a deux questions à traiter à la fois au début de notre discussion : 1° dans quelle région de la terre les rayons corpusculaires du soleil pénètrent-ils dans notre atmosphère et dans quelles conditions ces rayons pénétreront-ils assez profondément pour être absorbés ? 2° quelle énergie peut-on supposer que représente la projection des rayons ? Nous pouvons donner à ces deux questions des réponses satisfaisantes.

1) Voir aussi : Sur l'origine des planètes et de leurs satellites. *C. R.* 1912, t. 155, p. 892, Paris. De l'origine des mondes. *Arch. Sc. Phys. et nat.* Genève, juin 1913.

2) Voir *Ainsworth Davis*, Science in modern life, Vol. II, Londres 1909. Geology par O. T. Jones, ouvrage dans lequel j'ai pris la liberté de puiser beaucoup de citations.

Phénomènes lumineux au-dessus de la zone aurorale

§ 4. Les rayons se projettent sur la terre dans les zones dites aurorales, soit deux bandes presque circulaires autour des points d'intersection de l'axe magnétique et de la surface de la terre, l'un pas très loin du Pôle Nord (actuellement N.-O. du Grœnland), et un point respectivement à la même distance du Pôle Sud. J'ai donné dans mon A. P., p. 327 et 598, une idée très précise de la manière dont les rayons sont projetés autour des régions polaires de la terre.

Le Grœnland et le Spitzberg sont en dedans de la zone aurorale ; le Japon et le Kamtchatka en sont au contraire très éloignés ; de fait le Japon est près de l'équateur magnétique.

Les conditions qui doivent exister pour que la plus grande partie des rayons crépusculaires pénètrent profondément dans notre atmosphère sont faciles à déterminer. Nous croyons aujourd'hui que la plupart des rayons, pendant les grands orages magnétiques, arrivent et retournent à une hauteur d'environ 500 km. de la surface de la terre. C'est d'ailleurs le résultat auquel je suis arrivé lorsque la projection des rayons s'effectuait entre mes deux stations de Kaafjord et d'Axeloën, en 1902-1903. (Voir A. P., p. 309.) L'énergie des projections crépusculaires de ce genre est, comme nous le verrons, absolument prodigieuse.

Mais même si la plus grande partie des rayons passent actuellement à une hauteur de 500 km., il y aura quelques rayons dans la partie inférieure de la projection qui passeront si près de la terre que l'atmosphère en deviendra lumineuse. Quelques rayons, en très petit nombre, descendent tout droit et presque parallèlement aux lignes de force magnétiques ; ils donnent un brillant rideau de lumière polaire et sont ainsi complètement absorbés par l'atmosphère.

Mais il y a deux autres classes de phénomènes lumineux sur lesquels je veux spécialement attirer l'attention. M. Krogness, qui a maintenant plusieurs années d'expérience comme directeur de l'observatoire Haldde, a l'impression que chaque fois qu'il y a un fort orage magnétique, on voit un arc de lumière

boréal qui traverse le ciel haut dans l'atmosphère, juste en dessous du parcours le plus rapproché de la terre que suit en général le faisceau de rayons cosmiques, le long de la zone aurorale, tantôt à l'est et tantôt à l'ouest. Je pense que ce point est bien établi mais mérite d'être examiné de plus près.

L'autre phénomène lumineux, dont il a été fait mention, sont les remarquables nuits lumineuses de la région polaire qui ont attiré l'attention de tant d'observateurs. J'ai observé ce phénomène moi-même plus d'une fois. Le ciel, le soir et la nuit, même après minuit et au milieu de l'hiver peut être merveilleusement brillant plusieurs jours de suite. Il est probable que la radiation ordinaire de la chaleur de la surface de la terre sera moins forte de nuit sous un ciel brillant de la sorte que sous un ciel clair ordinaire. Il ne peut être mis en doute que cette luminosité est due à une luminescence électrique uniforme. Le spectroscopie montre la raie de lumière polaire $\lambda : 5571$ dans tout le ciel.

A mon avis cette luminescence presque permanente est produite par des rayons attirés magnétiquement dans la direction de la zone aurorale par le disque permanent de rayons qui entoure le soleil et dont, en d'autres circonstances, la lumière zodiacale est la manifestation. Ce phénomène peut donc être lié intimement à une sorte de lumière zodiacale que l'on voit directement au nord aux environs du solstice d'été, lumière qui a été étudiée par Cambell, Fath⁽¹⁾, Barnard et Newcomb.

On a observé à l'Observatoire de Like, en juin 1908, que cette lumière atteignait à minuit 18° au-dessus de l'horizon au nord. Les observations ont montré qu'avant minuit le maximum d'intensité se trouvait à quelques degrés à l'ouest et qu'après minuit le maximum était graduellement déplacé vers l'est. Newcomb a étudié cette forme de la lumière zodiacale du haut d'une montagne de 7700 pieds, en Suisse. Il est arrivé à la conclusion que cette lumière zodiacale était suffisamment brillante pour être distinguée à une distance de 35° au nord du

¹⁾ Fath, The northern limit of the Zodiacal light (*P. A. S. P.* 1908, Vol. XX, p 280).

soleil, et il ajoute ce qui suit⁽¹⁾ : « la limite de 35° que j'ai fixée « me paraît néanmoins beaucoup plus précise qu'aucune autre « limite qui ait pu ou pourra jamais être fixée. »

Il me semble qu'il y a de bonnes raisons pour croire que cette lumière zodiacale au nord est due au cône bien défini de rayons électriques solaires attirés vers la zone aurorale par le magnétisme terrestre. En été ce cône est considérablement plus fort qu'en hiver et sera visible sur la terre de latitudes beaucoup plus faibles étant donné la position de l'axe de la terre. Cette hypothèse explique tous les faits observés. Rappelons d'abord la forme de ce cône d'après nos expériences sur la terrella.

Dans mon livre A. P., p. 299, on trouvera déjà quelques très bonnes photographies, mais les fig. 200 et 219 donnent la meilleure indication ; car sur la première on voit par le côté les deux cônes attirés vers le pôle nord et le pôle sud et sur la seconde nous voyons d'en haut le cône de rayons projeté vers le pôle nord légèrement au couchant de la terre. La dernière photographie montre qu'un observateur placé à minuit à une latitude convenable verra le maximum de la lumière à l'ouest, mais qu'après minuit le maximum sera déplacé à l'est. La comparaison entre les observations de Fath et celles de Newcomb d'après lesquelles le bord supérieur de la lumière est mieux délimité que pour la lumière zodiacale ordinaire, est maintenant facile à comprendre parce que les rayons attirés magnétiquement forment toujours un cône assez bien défini, que depuis son poste d'observation il regardait tout le long de la partie nord de la surface du cône.

Conditions pour l'absorption de la projection corpusculaire

§. 5. Quelles doivent être maintenant les conditions à remplir pour que si ces nouveaux rayons solaires pénètrent assez profondément dans l'atmosphère leur énorme énergie y soit transformée en chaleur ?

¹⁾ Newcomb, Am. observation of the Zodiacal light to the north of the sun (*Aph. Z.*, 22, p. 209).

Pour répondre à cette question nous ne pouvons pas nous servir des résultats de l'analyse mathématique qui considère la terre comme un aimant élémentaire, parce que les phénomènes que nous étudions ont lieu trop près de sa surface. Mais nous pouvons très bien nous servir des résultats des expériences de la terrella qui sont très instructives, même dans ce cas. Il est hors de doute que la hauteur au-dessus de la surface de la terre à laquelle passe le faisceau de rayons corpusculaires, dépend dans une large mesure de l'intensité du magnétisme terrestre et par conséquent d'une manière correspondante de la force magnétique des rayons cathodiques solaires. On trouvera A. P., p. 591 à 595 les indications nécessaires sur les dimensions des anneaux de projection sur la terrella. Ces anneaux correspondent aux zones aurorales de la terre. Deux séries d'expériences exécutées avec des rayons cathodiques de 1800 et de 2400 volts nous ont montré en premier lieu que plus les rayons employés sont forts et plus l'aimantation de la terrella est faible, plus grands sont les anneaux polaires de projection. Elles nous ont montré ensuite que plus la terrella est aimantée, plus la bande de lumière dans l'anneau se rétrécit, et plus faible devient le nombre des rayons qui sont attirés vers la terrella dans l'anneau de projection. Il doit certainement exister une certaine aimantation pour laquelle on aura un maximum de rayons projetés sur la terrella. Il est intéressant en conséquence de constater que d'après notre théorie et les analogies expérimentales une aurore boréale qui se produit à une faible altitude au-dessus de la terre doit être due à des rayons plus puissants qu'une aurore boréale qui ne se produit que dans la zone aurorale ordinaire, et que plus l'aurore boréale s'étend loin vers les latitudes sud, plus sa largeur sera grande, et nous pouvons prévoir qu'elle sera visible simultanément au zénith au-dessus d'une grande étendue de la terre.

Les photographies 2 et 8 de la fig. 218 A. P., p. 593 sont spécialement dans ce cas d'une grande utilité si on les compare avec les expériences représentées à la fig. 219. Il semble que pour des rayons cathodiques de 2400 volts et une intensité magnétique de 1600 unités C. G. S. Au pôle de la terrella les anneaux de projection ont un diamètre sphérique moyen de 88°

et une surface trois ou quatre fois plus grande que les anneaux de projection pour les mêmes rayons, mais avec 2800 unités C. G. S. d'intensité polaire.

Si l'on donne à l'intensité polaire une valeur triple de celle qu'elle avait dans le premier cas, la surface de la zone de projection annulaire sera 12 à 14 fois plus petite.

Avec des rayons de 2000 volts et une intensité polaire d'environ 4500 unités C. G. S. nous trouvons un anneau de projection d'un diamètre moyen de 45° , qui correspond exactement à la zone aurorale sur la terre.

L'épaisseur de la zone sur la terrella est d'environ $2,5^\circ$ correspondant à environ 280 km. sur la terre de telle sorte que, si la force des rayons corpusculaires est uniforme, il n'y aura pas ordinairement dans la zone aurorale de projections simultanées de rayons distantes latéralement les unes des autres de plus de 300 km. Mais, comme cela a été dit plus haut, ce n'est pas seulement l'intensité magnétique qui détermine les dimensions des anneaux de projection, mais aussi la force des rayons.

Pour des rayons corpusculaires nous avons, comme on sait,

$$H \cdot \rho = \frac{mv}{e},$$

où H est l'intensité du champ magnétique, ρ le rayon de courbure des rayons, sur la masse d'une particule électrique, e sa charge et v sa vitesse. Avec une certaine espèce de rayons, ρ sera par exemple visiblement toujours trois fois plus grand pour une valeur trois fois moindre de H , où que ce soit dans le champ magnétique. Mais si le champ magnétique est maintenu constant, nous pourrions également obtenir une valeur de ρ trois fois supérieure, en prenant des rayons trois fois plus forts, lorsque par conséquent $\frac{mv}{e}$ est trois fois plus grand.

De ces expériences j'ai tiré la conclusion que pour les rayons corpusculaires solaires qui pénètrent dans la zone aurorale on a :

$$H \cdot \rho = 3 \times 10^8 \quad (\text{A. P., 595}).$$

Mais j'ai admis que la valeur de $H\rho$ n'est pas toujours la même et peut varier de 1 à 10 millions.

De ce qui précède, nous voyons que si *tous* les rayons corpusculaires sont assez peu puissants pour que $H\rho = 10^6$, il n'y aurait pratiquement aucun rayon corpusculaire solaire qui serait attiré vers la terre. Mais si au contraire $H\rho$ avait toujours la valeur 10^7 C. G. S., ces rayons pénétreraient dans l'atmosphère sur une surface environ quinze fois plus grande qu'ils ne le font dans la zone aurorale actuelle, pour une valeur de $H\rho = 3 \times 10^6$. Et ce qui est encore plus important, les rayons pénétreraient réellement tout à fait profond dans l'atmosphère.

Si une fois ou l'autre $H\rho$ avait eu la valeur 10^7 C. G. S. pour les rayons du disque permanent autour du soleil, qui se manifeste actuellement comme lumière zodiacale, les conditions de température sur la terre auraient été absolument différentes de celles que nous avons aujourd'hui, comme nous allons le voir.

Il y a cependant une catégorie importante d'orages magnétiques, qui fait croire à l'existence de rayons corpusculaires solaires encore beaucoup plus puissants que ceux déjà mentionnés. J'ai appelé ces orages les orages « cyclo-médians ».

Il n'y a, dans nos observations de 1902 et 1903, qu'un orage de ce genre, de telle sorte que cette catégorie de perturbations n'a pas encore été très bien étudiée, mais il y a beaucoup d'orages cyclo-médians survenant sur la terre; leur intensité est parfois très grande, mais pas spécialement dans la région polaire. Dans le matériel d'observations, de 1902 à 1903, on n'a choisis que les observations magnétiques enregistrées aux vingt-sept observatoires qui participent à ce travail, survenues à des dates auxquelles avait eu lieu quelque grand orage magnétique; on pourra donc facilement comprendre que les orages cyclo-médians manquent aux observations de nos quatre stations polaires.

Il semble que les orages cyclo-médians sont dus à un système de courants de rayons qui apparaît aux faibles latitudes, à une hauteur au-dessus de la terre qui est certainement considérable, mais qui est petite cependant, comparée aux dimensions de la terre elle-même.

Dans nos expériences avec la terrella, j'ai cherché à prouver la démonstration d'un système semblable au moyen de rayons cathodiques très forts de 10,000 volts et avec une faible aimant-

tation de la terrella. On trouvera dans A. P., p. 151 et 153, quelques reproductions photographiques de ces expériences.

Il est intéressant de remarquer que si l'on commence les expériences avec une aimantation nulle de la terrella et qu'on l'augmente graduellement jusqu'aux aimantations les plus fortes qu'on puisse obtenir, la projection des rayons commencera par se retirer du pôle pour s'amasser des deux côtés de la région équatoriale, puis disparaîtra autour de l'équateur; les rayons formeront alors deux zones aurorales se rapprochant finalement du pôle, devenant de plus en plus minces, de telle sorte que le nombre des rayons frappant la terrella diminue toujours très rapidement.

Feu M. le prof. Störmer a calculé les trajectoires correspondant à ces expériences, en considérant la terre comme un aimant élémentaire et ses résultats sont mentionnés dans A. P., p. 151 à 160. Il a trouvé que la valeur de $H\rho$ doit être excessivement grande pour les rayons susceptibles de produire des tourbillons cycloniques comme ceux observés sur la terre; il a trouvé la valeur de 93 millions. A cette époque, je n'ai pas attaché de signification physique à cette valeur énorme de $H\rho$. Ce n'est que plus tard, lorsque j'eus trouvé que $H\rho$ valait 3 millions pour les rayons projetés dans la zone aurorale, que j'eus l'idée que nous avions à faire à des rayons cathodiques très puissants que j'ai appelés les rayons héliocathodiques; j'ai calculé que la tension électrique négative nécessaire à la projection de ces rayons était de 600 millions de volts.

D'après cela, il semble que nous pouvons admettre que le soleil, en diverses circonstances, lors d'éruptions électriques fréquemment de très courte durée, peut envoyer des rayons qui atteignent la terre et pour lesquels $H\rho$ est compris entre un et cent millions.

(A suivre).
