Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 43 (1917)

Artikel: Sur les draperies d'aurores boréales
Autor: Störmer, Carl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-743032

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: 13.07.2025

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

SUR LES

DRAPERIES D'AURORES BORÉALES

(Réponse à M. Birkeland)

PAR

Carl STÖRMER (Christiania)

J'ai récemment lu un article (1) de mon collègue, le professeur Kr. Birkeland, publié dans les *Archives* en janvier et février 1916, et dans lequel il fait une critique très vive et très subjective de la manière dont j'ai essayé d'expliquer la formation des draperies d'aurore. Comme il n'a pas bien compris ma déduction, et comme, d'autre part, son explication spéciale du phénomène me semble très invraisemblable, je crois utile de lui répondre.

Dans ce même article, M. Birkeland fait des objections relativement aux conclusions que j'ai tirées d'une aurore observée à Bossekop dans la nuit du 11 au 12 mars 1912. J'avais conclu comme probable que cette aurore, à cause d'une forte perturbation simultanée, avait été due à l'électricité positive, mais sans rien dire sur les aurores en général ni sur le signe des corpuscules électriques causant les orages magnétiques : l'attaque de M. Birkeland relative à ces deux derniers points est donc un coup dans l'eau.

Nous allons revenir à la question du signe de l'électricité.

1. *Mon explication de la formation des draperies d'aurore.*

Pour éviter les longues déductions, nous supposons connue la théorie mathématique que j'ai développée dans les

1) « Les rayons corpusculaires du soleil qui pénètrent dans l'atmosphère terrestre sont-ils négatifs ou positifs ? » *Archives*, t. XLI, p. 22 et 109.

mémoires sur ce sujet, dans les *Archives* en 1907 (1) et en 1913 (2).

Comme on se le rappelle, la simplification des hypothèses relatives à l'application de la théorie aux expériences de M. Birkeland et aux phénomènes d'aurores boréales consiste surtout en ceci, que nous considérons le globe magnétique de M. Birkeland ainsi que la terre *comme des sphères homogènement magnétisées*. Cela revient à supposer le champ magnétique dû à un *aimant élémentaire*.

Dans les mémoires cités nous avons fait voir comment l'étude des trajectoires arrivant à l'aimant élémentaire, trajectoires que nous avons appelées *trajectoires par l'origine*, était d'une importance fondamentale pour l'application aux aurores boréales. A cause de la forme si variée de ces trajectoires, leur discussion est peut-être difficile à suivre dans les détails, et cela explique le malentendu de M. Birkeland, quand il croit avoir trouvé des faits expérimentaux en contradiction avec mes résultats (3). Il n'en est cependant rien ; car jusqu'à présent ses expériences sont en complète harmonie avec la théorie mathématique, comme nous allons le voir.

En appliquant les résultats relatifs aux trajectoires par l'origine, j'avais réussi à donner une explication toute naturelle de la formation des arcs et draperies d'aurores boréales. Considérons, en effet, un étroit faisceau de corpuscules électriques émanés du soleil et suivant des trajectoires assez voisines des trajectoires par l'origine, l'aimant élémentaire étant supposé placé au centre de la terre avec son axe coïncidant avec l'axe magnétique de celle-ci. En suivant ce faisceau depuis le soleil jusqu'à la terre, et en étudiant sa section, le fait suivant en

1) « Sur les trajectoires des corpuscules électrisés dans l'espace sous l'action du magnétisme terrestre avec application aux aurores boréales », *l. c.*

2) « Sur le mouvement de corpuscules électriques dans le champ d'un aimant élémentaire et la forme de leur trajectoire à leur arrivée à l'aimant », *idem*. Voir aussi : « The corpuscular theory of aurora borealis », dans *The inaugural lectures of the Rice Institute*, Houston, Texas.

3) Voir *The Norwegian Aurora Polaris expédition 1902-1903*, Vol. I, Second section, p. 610.

découlait : Pour certaines positions de l'endroit d'émanation et certaines directions du faisceau, la section qui était d'abord circulaire se déformait à l'approche de la terre, et cela d'une

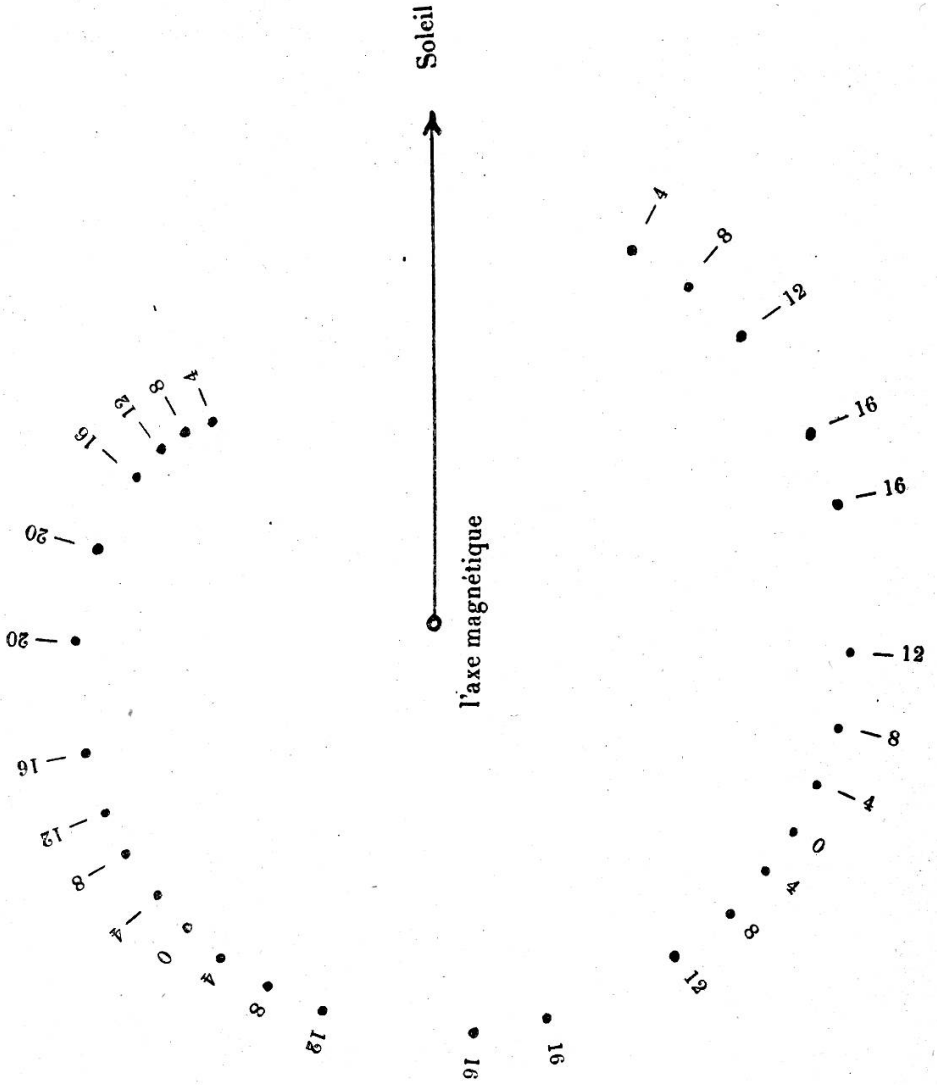

Fig. 1.

telle façon que son étendue est-ouest magnétique devenait beaucoup plus grande que l'étendue nord-sud. Ainsi, à l'entrée dans l'atmosphère, les corpuscules du faisceau donnaient lieu à une draperie d'aurore s'étendant de l'ouest à l'est.

Nous renvoyons le lecteur au § 19 de notre mémoire de 1907, où l'on trouve les détails de cette théorie.

Pour en donner encore une illustration bien nette, nous reproduisons sur la figure 1 les lieux de précipitation, autour

de l'axe magnétique de la terre, des corpuscules correspondant aux positions du soleil faisant avec le plan magnétique équatorial de la terre des angles entre $-20°$ et $+16°$. La valeur de l'angle est écrite à côté de chaque point de précipitation, et on voit alors que la variation de longitude ouest-est magnétique est très grande pour certaines valeurs de l'angle, par exemple pour les valeurs aux environs de $-20°$, $-16°$ et $+16°$.

Ce sont précisément des faisceaux correspondant à ces positions qui se déforment de manière à donner lieu à des draperies d'aurore boréale.

Remarquons que les lieux de précipitation indiqués sur cette figure correspondent seulement à la première série de trajectoires par l'origine calculée jusqu'à présent et correspondant aux valeurs de la constante d'intégration γ (voir le mémoire cité) entre zéro et -0.93. Pour les trajectoires par l'origine correspondant aux valeur de γ entre -0.93 et -1, il y a des séries pareilles qui n'ont pas encore été étudiées dans le détail.

2. *Réponse à l'objection de M. Birkeland relative à mon explication des draperies d'aurore boréale.*

En ce qui concerne la théorie des draperies d'aurore boréale exposée dans le paragraphe précédent, M. Birkeland s'exprime de la manière suivante :

« Mais la théorie de Störmer ne peut être considérée que comme une magnifique expérience mathématique, parce que les résultats qui en découlent ne sont pas conformes aux phénomènes observés... » ; et un peu plus loin il dit : « M. Störmer calcule par exemple qu'un rideau auroral long de 275 km. et d'une épaisseur de 72 m. peut être formé de rayons cathodiques ordinaires en supposant que les rayons cathodiques suivent de près les rayons qui passent par le centre de l'aimant élémentaire. Mais cette hypothèse ne saurait être plus fausse : tous ceux qui ont vu une belle aurore boréale en formation le savent » [1].

[1]) Après cela vient une phrase qui est tellement dépourvue de sens qu'elle doit être due à une fausse traduction du manuscrit de Birkeland.

De la vérité de cette dernière phrase, M. Birkeland ne donne aucune démonstration. Il faut recourir à son livre : *The Norwegian Aurora Polaris Expédition 1902-1903*, pour voir s'il y a quelque raison scientifique pour s'exprimer ainsi.

On y trouve, aux pages 553-610, une série d'expériences reproduites et discutées, expériences où un petit globe magnétique est exposé aux rayons cathodiques.

Le groupe de rayons que M. Birkeland appelle groupe A, a été, en 1911, le sujet d'une étude mathématique que j'ai publiée dans les *Archiv for Mathematik og Naturvidenskab* (1), et les résultats de la théorie et de l'expérience sont ici en parfait accord. Les expériences se rapportant aux rayons que M. Birkeland appelle rayons du groupe B n'ont pas encore été comparées avec la théorie, mais, autant que je le vois, il n'y aura ici non plus aucun désaccord (2).

Pendant la discussion, M. Birkeland s'exprime ainsi, p. 610 :

« He presupposes that the rays which in reality occur in the auroral curtains keep close to such rays through the centre. We have seen from the experiments, however, that the cosmic rays lying nearest to those which penetrate the auroral curtain, can swing entirely underneath the magnetic equator and penetrate the southern auroral zone. »

Cependant, contre l'hypothèse que les rayons d'une draperie d'aurore sont dus à des corpuscules suivant de très près des trajectoires par l'origine, le fait expérimental invoqué par M. Birkeland ne peut servir d'argument: en effet, la théorie mathématique fait aussi voir qu'un faisceau *même étroit* de ces trajectoires par l'origine peut se diviser à l'approche de la terre en faisceaux plus petits, dont quelques-uns entrent dans la zone d'aurore boréale, d'autres dans la zone d'aurore australe, après avoir traversé le plan magnétique équatorial une ou plusieurs fois ; pendant son parcours le corpuscule, en suivant sa trajectoire par l'origine, peut même s'approcher alternativement des

1) « Sur une classe de trajectoires remarquables, etc. », *l. c.*, t. XXXI, n° 11.

2) J'espère, si j'ai le temps, pouvoir publier un mémoire sur la comparaison détaillée des expériences de M. Birkeland avec ma théorie mathématique.

deux zones en spires (comme des lignes géodésiques d'un cône de révolution étroit), avant d'arriver enfin dans l'atmosphère (1)

Pour éviter tout malentendu de la part de M. Birkeland, précisons encore que la distribution d'un faisceau en draperie ne concerne que les trajectoires par l'origine où

$$\gamma_m - \delta < \gamma < \gamma_m + \delta$$

ou γ_m est la valeur de la constante γ correspondant à un maximum ou minimum de la fonction (2)

$$\Psi_\gamma = f(\Phi_\gamma)$$

et où il *faut choisir le nombre positif δ assez petit.* En effet, si l'on ne choisit pas δ assez petit, le faisceau peut contenir des trajectoires par l'origine qui, après avoir suivi d'abord les autres trajectoires du faisceau, s'en écartent ensuite à l'approche de la terre, pour pénétrer même dans la zone d'aurore opposée.

3. *Critique de l'idée de M. Birkeland relative à la formation des draperies d'aurore.*

Voyons maintenant si l'idée de M. Birkeland sur les draperies d'aurore est bien fondée.

Il dit dans son article, § 7 :

« Les rayons cosmiques approchent de la terre de la même manière que nos rayons cathodiques approchent de la terella. Nous devons supposer en conséquence que les rayons auroraux dans un rideau sont formés par un groupe relativement petit de rayons cathodiques qui pénètrent profondément dans notre atmosphère, après s'être détachés successivement d'un faisceau plus large de rayons. Les différents groupes ont respectivement passé par l'équateur magnétique un nombre $n, n+1, n+2, \ldots$ de fois. »

Pour mieux comprendre son idée, il faut recourir à son livre *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902-1903,* second section, p. 605, où il s'exprime ainsi :

« The rays which are precipitated, for instance, on the night

1) Voir, pour les détails, mon mémoire de Genève, 1907.

2) Voir mon mémoire de 1907, § 19.

side of the terella, a little eastward of the place where other contiguous rays originally from the same bundle of rays are precipitated, will thus have travelled considerably farther than those rays which are precipitated on the west side, close by. They may, in fact, have been deflected below the level of the equator towards the south pole and than have risen again and been precipitated in the northern auroral zone. »

Considérons maintenant deux rayons consécutifs, de l'ouest à l'est, d'une draperie d'aurore. Appelons ces rayons R_p et R_{p+1}, et désignons l'angle, mesuré en degrés, entre les deux plans passant par l'axe magnétique et ces rayons (par exemple par leurs points les plus bas), par Δ.

En se rappelant que les rayons d'une draperie sont très serrés, *l'angle* Δ *doit être très petit ;* par exemple, j'ai vu à Bossekop des draperies d'aurore où l'intervalle entre les rayons successifs ne pouvait presque pas être décerné ; en jugeant cet intervalle égal à par exemple 10 minutes d'arc, et la distance du rayon égale à 200 km., on obtient une distance entre deux rayons successifs inférieure à 600 mètres, et comme la distance de Bossekop à l'axe magnétique est d'environ 1500 km., cela donne un Δ plus petit que 0°.03.

En appelant φ_p l'angle parcouru par un plan passant par l'axe magnétique, quand celui-ci suit le groupe de corpuscules depuis le soleil jusqu'au lieu de précipitation du rayon R_p, on aura alors ou bien

$$\varphi_{p+1} = \varphi_p \pm \Delta$$

ou bien

$$\varphi_{p+1} = \varphi_a \pm \Delta + k.\ 360° \quad (k \text{ entier})$$

si le corpuscule, en traversant le plan magnétique, a tourné un certain nombre de fois autour de la terre.

Que deux corpuscules appartenant respectivement aux rayons R_p et R_{p+1} puissent pénétrer dans l'atmosphère si près l'un de l'autre, après avoir parcouru des trajectoires si différentes dans le champ du magnétisme terrestre, cela me semble déjà bien improbable ; cela doit être dû à un très grand hasard, si l'on se souvient que ce champ ne présente pas une régularité si parfaite autour de l'axe magnétique.

L'idée de M. Birkeland qu'une draperie d'aurore qui peut

s'étendre d'un côté de l'horizon à l'autre et contenir des centaines de tels rayons R_p est formée de la manière sus-indiquée, me semble alors tout à fait improbable.

En parcourant avec soin le grand nombre d'expériences du chapitre IV du livre de M. Birkeland, je ne trouve pas non plus de faits pouvant justifier cette idée si hardie sur la formation des draperies d'aurore. Les « 20 précipitations successives » dont il parle si souvent n'ont pas été l'objet d'une étude sérieuse, et quant au point principal, la mesure de l'angle $\varphi_{p+1} - \varphi_p$ il n'en est pas dit un seul mot.

Je ne sais pas s'il pense que les rayons successifs d'une draperie se sont détachés d'un grand faisceau de rayons A, de manière que les groupes de rayons correspondent aux 1res, 2e, 3e, etc., zones successives de précipitation. Comme la différence entre les zones successives est ici d'environ 100°, voyons, en admettant pour un moment cette hypothèse, comment les rayons se grouperont autour de l'axe magnétique ; calculons les multiples de 100° et réduisons chaque angle à l'intervalle 0° — 360°. On trouve alors, pour la différence 100° :

N° de zone	Angle	Angle réduit
1	100	100
2	200	200
3	300	300
4	400	40
5	500	140
6	600	240
7	700	340
8	800	80
9	900	180
10	1000	280
11	1100	20
12	1200	120
13	1300	220
14	1400	320
15	1500	60
16	1600	160
17	1700	260
18	1800	0
19	1900	100
20	2000	200

On voit que la 19e précipitation coïncide avec la première, et que les précipitations seront distribuées autour de l'axe magnétique avec un intervalle de 20°.

Si l'on choisit la différence très proche de 100°, égale à $100° + \varepsilon$, on trouve que, pour un assez grand nombre de précipitations, des draperies commencent à se former avec intervalle, entre rayons successifs, égal à 18ε, et ces draperies, au nombre de 18, seront distribuées autour de l'axe magnétique et auront, entre chacune d'elles, un intervalle de 20°, résultat assez invraisemblable !

Il y a lieu d'espérer que M. Birkeland voudra bien donner des explications plus précises sur son idée, de manière qu'on puisse mieux la discuter ; jusqu'à présent elle me semble mal fondée et bien invraisemblable.

4. *Sur le signe des corpuscules causant les aurores boréales.*

En ce qui concerne cette question, je puis être très court. Tout d'abord je m'étais exprimé assez prudemment dans mon article dans le *Terrestrial Magnetism*, en disant seulement : « It seems thus to be proved that the aurora was caused by positivly charged electric particles. »

Un cas aussi caractéristique que celui de l'aurore boréale en question est assez rare. Cette aurore était un phénomène tout à fait prédominant, et, s'il en est ainsi qu'une aurore peut avoir des actions magnétiques, cela doit bien être le cas de celle-ci. Cependant il est naturellement possible que les systèmes de courants en dehors de l'atmosphère peuvent avoir une action prédominante, de manière qu'ils masquent l'action de l'aurore.

Il faut attendre et étudier plusieurs cas analogues pour pouvoir se sentir sûr en ce qui concerne ce point difficile.

Relativement au signe des corpuscules, M. L. Végard a cependant donné une série d'arguments en faveur d'une charge positive, arguments au sujet desquels il serait très intéressant de connaître l'opinion de M. Birkeland.

La limite inférieure de 80-90 km., pour les 2500 hauteurs

d'aurores boréales observées lors de mon expédition à Bossekop en 1913, semble aussi être un argument décisif s'opposant à la possibilité que ces aurores soient causées par les rayons négatifs si pénétrants et si rigides figurant dans les hypothèses de M. Birkeland.

5. *Sur le rôle de la théorie mathématique des trajectoires de corpuscules.*

D'après ce que dit M. Birkeland dans le § 8 de son article, il ne semble pas se rendre, lui-même, exactement compte de l'importance de la théorie mathématique pour l'étude générale des trajectoires.

Comme je l'ai fait voir dans plusieurs de mes mémoires (1), les méthodes théoriques que j'ai développées permettent d'étudier à fond toutes les grandes classes de trajectoires possibles, sans qu'il soit nécessaire d'exprimer les coordonnées comme fonctions explicites du temps. Il est possible que M. Birkeland n'ais pas réussi, lui-même, à appliquer ces méthodes à ses expériences et à la théorie des orages magnétiques, mais cela n'est pas un argument contre leur utilité.

Le problème qui consiste à trouver les trajectoires des corpuscules cathodiques autour d'un aimant élémentaire est un problème d'analyse aussi bien défini que les problèmes de la mécanique céleste ; les équations de mouvement sont vérifiées partout où l'on a eu lieu de le faire, et elles ne peuvent être mises en doute ; et c'est alors un problème de mathématiques pures que de trouver et de discuter les diverses formes des trajectoires. Il est alors évident que l'utilité de la méthode analytique, au lieu d'être, comme le dit M. Birkeland, bien minime, est bien importante ; non seulement elle peut servir à prédire les faits expérimentaux, mais aussi à les guider et à les discuter à fond.

1) Voir surtout ceux cités dans cet article.