

Sur la nature et l'origine de l'aurore boréale.

Par

Adam Paulsen.

Avant d'exposer une théorie sur les phénomènes auroraux, je vais d'abord communiquer quelques expériences nouvelles qui indiquent l'existence et la direction des courants électriques dans les bandes aurorales et l'influence de l'aurore sur le potentiel électrique de l'air près de la surface du sol.

On n'a pas encore trouvé une loi générale exprimant l'effet des aurores sur l'aiguille aimantée. Des observations, faites en pays arctiques, montrent qu'il y a des aurores, même fortes, qui n'influencent pas sensiblement sur la position de l'aiguille; nous reviendrons plus tard sur l'explication de ce fait, mais en général, à l'apparition d'une grande aurore se lient des perturbations magnétiques.

Les fortes aurores apparaissent en général sur une grande étendue du ciel; le résultat de leur action sur l'aiguille se compose donc des effets des différentes parties du phénomène, dont la position et l'intensité changent perpétuellement. Vient en sus l'effet des courants telluriques qui en général accompagnent les phénomènes auroraux. Il y a cependant une apparition aurorale très propre à l'étude de la question qui nous occupe, mais que je n'ai vue que rarement pendant mon séjour en Groenland. Cette forme d'aurore boréale apparaît

comme un rideau ou une bande suspendue verticalement dans l'air et animée d'une grande vitesse de translation. A Godthaab (côte ouest du Groenland, lat. $64^{\circ} 11'$) ces phénomènes viennent du sud magnétique pour passer le zénith et puis s'éloigner vers le nord. Leur grande vitesse fait présumer que l'élévation au-dessus du sol est relativement faible; si ces formes d'aurore boréale sont parcourues par des courants électriques, la déviation que les courants impriment à l'aiguille doit changer de signe au moment où l'aurore passe le zénith. A Godthaab j'ai vu deux fois de pareils phénomènes, mais j'étais malheureusement trop loin du pavillon magnétique pour observer l'aiguille. J'ai donc invité M. Vedel, lieutenant de vaisseau et membre de l'expédition arctique de M. Ryder, à faire des expériences spéciales sur les effets magnétiques de cette espèce d'aurores, s'il s'en présentait au point de la côte orientale du Groenland, où l'expédition devait hiverner. En 1891 et en 1892, M. Vedel a fait des observations magnétiques dans l'île de Danmark ($\varphi = 70^{\circ} 27'$, $\lambda = - 26^{\circ} 10'$) dans le Scoresby Sound. Nombre de fois, M. Vedel a vu de petites draperies aurorales se mouvant avec une grande vitesse du sud au nord magnétique en passant le zénith de l'observatoire. A l'apparition d'un tel phénomène, M. Vedel a toujours observé l'aiguille. Les observations montrent que l'aiguille a constamment dévié vers l'ouest aux approches de l'aurore. Au moment où le phénomène passait le zénith, l'aiguille faisait des oscillations autour de la position qu'elle avait prise avant l'apparition de l'aurore, pour dévier à l'est quand l'aurore s'éloignait vers le nord. M. Vedel a fait une vingtaine d'observations sur l'effet de ces formes d'aurore sur l'aiguille, et les expériences ont toujours donné le même résultat.

Les observations montrent que les rideaux auroraux sont parcourus par des courants électriques dont la direction est de bas en haut. Dans les rideaux auroraux le potentiel électrique va donc en décroissant vers le haut. Des expériences que

nous avons faites à Godthaab indiquent, conformément à celles de M. Vedel, que le potentiel de l'air près de la surface du sol diminue jusqu'à devenir négatif pendant l'apparition des grandes aurores.

Pour ces recherches nous avons dressé, au bout d'un poteau de télégraphe, une tige de cuivre doré se terminant en pointe et isolée par du caoutchouc. Le poteau était planté sur un monticule à 90^m au-dessus de la mer et distant de 3 kilomètres de la station. Un fil de cuivre enduit de caoutchouc, mettait la tige en communication avec un galvanomètre astatique à réflexion, de Thomson, installé dans une baraque sur le monticule où étaient construits les autres observatoires de l'expédition polaire internationale danoise. L'autre bout du fil du galvanomètre était relié, par un fil de cuivre isolé, à une pièce de cuivre doré qu'on avait plongée dans le sol de la plage.

Pendant quelques semaines du mois de novembre 1882, nous avons fait des observations régulières avec cet appareil, mais on a bientôt reconnu qu'il était impossible de tenir la tige et le fil de télégraphe en bon isolement. La force du vent causa aussi de très fréquentes ruptures du fil. Après un fonctionnement de quinze jours on fit donc cesser les expériences. Le galvanomètre accusa presque toujours un potentiel positif de l'air par rapport à celui du sol. L'aiguille était en général très agitée, surtout quand il neigeait. La condensation de l'humidité de l'air devait également influencer sur les indications de l'appareil.

Cependant nous avons fait quelques expériences qui conduisent à admettre que l'aurore boréale fait diminuer le potentiel de l'air. Je donne ci-dessous un extrait du journal de ces observations; le courant est dit négatif, quand le potentiel du sol est plus petit que celui de l'air, et positif en cas contraire.

Voici les expériences faites durant l'observation du 12 novembre. A 8^h s. le point lumineux projeté sur l'échelle par

la réflexion du miroir du galvanomètre, s'approcha lentement du point zéro du côté indiquant un courant négatif; au même moment apparut une aurore boréale; à 8^h 30^m, grande aurore; le galvanomètre n'indiquait aucun courant. A minuit, aurore boréale d'une grande intensité et sous forme de zone s'approchant du zénith. En regardant par la porte ouverte je pouvais suivre le développement du phénomène. Quand l'intensité était la plus grande, le point lumineux indiquait un courant positif, intensité 30. Puis le courant devint négatif, mais faible. L'intensité de l'aurore redevint forte, ce qui fit cesser le courant. Puis l'aurore s'affaiblit, et le courant devint négatif. Un peu plus tard, nouvel accroissement de l'intensité, et le courant fut alors positif, intensité 15. Inutile de dire qu'en déterminant le point zéro de l'échelle immédiatement avant chaque lecture, on a éliminé l'influence des mouvements de l'aiguille causés par des perturbations magnétiques. La force du vent était très faible; entre 8^h et 9^h s. la moyenne était de 6^m p. s., entre 11^h et minuit de 1^m et entre minuit et 1^h m. de 0^m. La nébulosité était de 2 (échelle 0—10) de 7^h s. à 2^h m. J'ai fait remarquer ci-dessus que l'aiguille était ordinairement agitée par des courants résultant de causes accidentelles, mais pendant les observations que je viens de décrire et où les conditions météorologiques étaient caractérisées par un grand calme, l'aiguille était très peu agitée et les variations dans la force et la direction du courant qui parcourut le fil du galvanomètre, étaient toujours en concordance avec les variations de l'intensité de l'aurore.

Voici une autre observation: le 22 novembre, l'état de l'aiguille depuis 8^h s. jusqu'au lendemain à 1^h s. était très tranquille; le courant presque toujours positif. Des aurores boréales ont apparu le 22 novembre durant les observations de 5^h, 6^h, 8^h, 10^h, 11^h s. et minuit; puis le 23, à 5^h, 6^h et 7^h m. Ce n'est qu'à 10^h et 11^h s. que les observations ont accusé un courant négatif. Je faisais moi-même l'observation à ces moments-là et mes notes sont portées au journal. A 10^h s. l'aiguille

était d'abord tranquille, intensité du courant — 22; survint ensuite une agitation qui fit diminuer l'intensité du courant; ce dernier finit par devenir positif, intensité 10. En entrant dans la baraque, j'observai un arc faible du N.-N.-E. au S.-S.-W. En procédant à l'observation du courant positif, je m'aperçus que l'arc s'était élevé à une hauteur de 30° au-dessus de l'horizon; en même temps la largeur de l'arc avait augmenté. A 11^h , en entrant dans la baraque, pas trace d'aurore boréale; le galvanomètre accusait un courant d'intensité — 20; l'aiguille était très tranquille. Quelques minutes après cette observation, le courant s'affaiblit et finit par devenir positif. En regardant par la porte j'observai un arc auroral assez intense s'élevant à une hauteur de 40° au-dessus de l'horizon. Le courant s'affaiblit encore, puis devint négatif et d'une intensité faible. Quand je sortis du pavillon, l'aurore avait disparu. La force moyenne horaire du vent variait de 7^m à 10^m p. s. entre 8^h s. et 3^h m. le lendemain. Le ciel resta parfaitement serein depuis le 22 à 11^h m. jusqu'au 23 à 6^h m.

Les mesures de l'électricité atmosphérique effectuées par l'expédition internationale suédoise au cap Thordsen (Spitzberg) conduisent au même résultat¹⁾. Les expériences montrent que, pendant les grandes aurores, le potentiel de l'air est diminué d'une manière sensible. On n'a qu'une seule fois constaté un potentiel négatif par un ciel parfaitement clair, et cette manifestation d'un potentiel négatif fut suivi, au bout de quelques minutes, d'une aurore boréale.

Les expériences faites par les expéditions danoise et suédoise montrent donc que près de la surface du sol le potentiel de l'air décroît pendant l'apparition des grandes aurores, et les observations de M. Vedel indiquent que, dans les bandes et rideaux qui sont des phénomènes auroraux suspendus verti-

¹⁾ Andrée: Observations sur l'électricité atmosphérique. Observations faites au cap Thordsen, Spitzberg, par l'expédition internationale suédoise.

calement dans l'atmosphère, la variation du potentiel de l'air suivant l'élévation au-dessus du sol, est l'inverse de celle qui a généralement lieu dans l'atmosphère.

L'effet de l'aurore sur la position de l'aiguille aimantée se manifeste aussi par la marche diurne régulière de la déclinaison à Godthaab, qui présente deux maxima et deux minima. Le maximum secondaire tombe à 9^h s., où l'aiguille fait une déviation maxima à l'ouest. Ce maximum présente la particularité que sa valeur est indépendante des saisons, ayant la même grandeur durant l'été que pendant l'hiver. Le temps de son arrivée coïncide avec l'activité maxima de l'aurore boréale. La colonie de Godthaab est située au bord septentrional de la zone d'aurore proprement dite; la grande majorité des phénomènes auroraux apparaissent à Godthaab dans le sud-est. Conformément aux expériences de M. Vedel, on peut expliquer l'existence de ce maximum dans la marche diurne de l'aiguille par l'effet des courants électriques dans les formes verticales d'aurore boréale. C'est aussi à la même heure qu'ont lieu les plus grandes perturbations magnétiques qui impriment à l'aiguille une déviation à l'ouest, et ceci est vrai tant de leur nombre que de leur valeur.

Un observateur qui, dans les pays arctiques, regarde une draperie aurorale, se trouve, sinon au milieu du phénomène, du moins dans une situation telle qu'il peut observer toutes les parties et tous les changements d'état du corps entier de l'aurore. En effet, cette forme aurorale se présente comme un phénomène isolé, librement suspendu dans l'atmosphère. Les draperies aurorales ont une grande étendue en longueur et en largeur, mais l'épaisseur est si faible que le phénomène ne se montre que comme une strie lumineuse quand il passe le zénith. Pour un observateur placé dans le plan d'une draperie, à l'ouest ou à l'est de celle-ci, le phénomène ressemble, à s'y méprendre, à un faisceau mince de rayons auroraux, et ce n'est que quand l'aurore se déplace qu'on reconnaît la forme

vraie. Si donc on se trouve en face d'une draperie, on ne voit pas seulement le côté du phénomène qui donne sur l'observateur, mais on voit à la fois tout le corps de l'aurore.

La structure, le mode d'apparition, de développement et de disparition d'un tel phénomène nous révèlent la nature de l'aurore boréale.

Dans toutes les descriptions on convient de la structure rayonnée des draperies; ce n'est que vers le bas ou vers le pied que les rayons se confondent en un bord lumineux; plus en haut, la structure rayonnée se présente sous forme de stries lumineuses séparées par des stries plus ou moins noirâtres. Quand l'intensité augmente, les rayons dardent vers le zénith. Une draperie est en général un phénomène très changeant; elle ondule, se plie et se déplace par un mouvement de translation souvent très rapide, mais les rayons conservent toujours leur direction primitive. Une grande draperie peut disparaître en quelques minutes en ne laissant d'autre trace qu'une bande mince d'une lumière nébuleuse ou quelques taches séparées et faiblement lumineuses. D'autre part, une bande aurorale d'une intensité faible, peut dans quelques minutes s'élargir en se transformant en une grande draperie qui émet des rayons vers le haut. Quand l'intensité d'une bande aurorale croît de cette manière, l'intensité de tous les autres phénomènes auroraux qui se montrent sur le ciel, va également en croissant, les arcs émettent des rayons vers le zénith, de nouveaux faisceaux de rayons apparaissent en différents points du ciel, et tous les rayons convergent vers le même point près du zénith magnétique. C'est là le phénomène de la couronne aurorale.

Si l'on observe consciencieusement ces phénomènes auroraux, sans que l'esprit soit lié par des préjugés sur leur nature, on est naturellement conduit à considérer l'aurore comme un phénomène dû à une énergie qui se propage par voie de rayonnement. La source d'émission des rayons ne peut évidemment pas être dans l'aurore même. On ne doit pas

supposer qu'une bande aurorale suspendue souvent à une altitude relativement faible au-dessus du sol et d'une épaisseur presque insensible, soit le centre d'une activité qui émet vers le haut des rayons de cent kilomètres. Quand une forme d'énergie se propage par rayonnement, les rayons ne sont que des voies par lesquelles une source perd son énergie. Or, beaucoup d'aurores conservent leur structure rayonnante jusqu'à la base du phénomène. Des rayons isolés peuvent descendre jusqu'au-dessous des cimes des montagnes pour s'élever un moment après à une hauteur de cent kilomètres. Comment donc se figurer une source d'énergie animée d'un mouvement qui surpasse celui des ouragans les plus violents et qui jouit de la propriété remarquable de pouvoir émettre des rayons lumineux verticaux jusqu'aux limites de l'atmosphère, tandis qu'elle est absolument hors d'état de perdre son énergie dans toute autre direction? Et surtout comment expliquer l'origine d'une énergie ayant son centre d'action au milieu de l'atmosphère, souvent dans les parties basses de celle-ci, et produisant les grands phénomènes d'aurore boréale sans que cette énergie soit jamais épuisée?

Nous devons donc admettre que la source d'émission des rayons auroraux se trouvent dans les régions supérieures de l'atmosphère, sinon hors de celle-ci; mais en tout cas la direction toujours constante des rayons nous montre que la source doit participer à la rotation diurne de la terre.

Il est dans la nature d'un rayonnement que les rayons propagent intégralement toute l'énergie qui leur est donnée par la source dont ils émanent, tant que l'énergie qu'ils contiennent n'est pas absorbée par le milieu qu'ils pénètrent. Si donc il n'y a pas d'absorption, un rayon ne perd pas d'énergie et doit par conséquent être invisible. Ce n'est donc qu'au fur et à mesure que les rayons qui produisent l'aurore, pénètrent dans les parties plus denses de l'atmosphère que leurs traces deviennent visibles par absorption, jusqu'à ce que toute leur énergie

soit transformée sous formation de lumière. Nous sommes donc conduits à considérer l'aurore boréale comme une lumière fluorescente produite par l'absorption d'une énergie qui se propage par la voie d'un rayonnement dont la source d'émission se trouve dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Ainsi ce ne sont pas, physiquement parlant, les arcs et les draperies qui émettent des rayons lumineux, mais des rayons invisibles qui par une transformation de leur énergie produisent l'aurore.

Quant à la source qui émet les rayons, elle doit être toujours invisible pour nous. Nous ne pouvons pas nous placer de façon que l'œil reçoive des rayons auroraux purs, et encore la fluorescence que les rayons produisent dans l'air, dénote que leur réfrangibilité doit être plus grande que celle des rayons dans la partie visible du spectre solaire. Avant de nous occuper de chercher la cause qui produit le rayonnement auroral, nous allons d'abord considérer le rôle que joue ce rayonnement quant à la forme et aux effets électriques et magnétiques de l'aurore boréale.

L'explication du phénomène auroral comme causé par absorption d'un rayonnement sous production de lumière fluorescente rend compte d'une manière générale des formes si variables sous lesquelles l'aurore se présente dans les pays arctiques, où la direction des rayons est à peu près verticale. Si le rayonnement est intense et concentré, l'aurore apparaît sous forme de rayons et de draperies. Quand il devient moins intense, l'absorption n'est pas assez grande pour qu'on voie les traces des rayons, et le phénomène ne se présente que comme un arc ou une bande d'une lumière faible ne dardant pas de rayons. Si au contraire le rayonnement est réparti sur une grande étendue, il est en général moins intense, et l'aurore se présente sous forme de nuages lumineux, de lumières blanchâtres semblables à l'aube du jour et d'autres formes de lumières faibles et diffuses.

L'effet de l'aurore sur l'aiguille aimantée a porté à admettre que l'aurore provient de courants électriques se manifestant par une production de lumière comme les courants électriques dans des tubes à air raréfié. Mais cette explication, généralement admise, soulève beaucoup de difficultés. Les aurores peuvent, dans les pays arctiques, pénétrer jusqu'aux plus basses couches de l'atmosphère. Comment donc expliquer l'existence des énormes différences de potentiel qui seraient nécessaires pour y établir des courants électriques? Et comment comprendre qu'un courant électrique intense jusqu'au point de rendre incandescent l'air à la pression d'une atmosphère à peu près, s'arrête brusquement sans avoir communication avec la terre? Si les rayons sont des courants électriques, les routes de ceux-ci doivent dépendre de la conductibilité de l'air, mais les rayons d'aurore ont toujours une direction rectiligne, et quand ils se déplacent, ce qui peut se faire avec une vitesse énorme, ils conservent toujours leur direction primitive. Enfin, les expériences montrent que de grandes aurores peuvent apparaître sans influencer sensiblement la position de l'aiguille aimantée. Nous allons aussi voir que les courants électriques sont des effets purement secondaires de l'aurore; ce ne sont pas des courants électriques qui produisent l'aurore, mais c'est l'aurore qui produit des courants électriques.

Il y a cependant un phénomène électrique présentant, à plusieurs égards, des analogies avec l'activité rayonnante qui produit l'aurore boréale. C'est le rayonnement électrique émis du pôle négatif dans des tubes à air très raréfié. On sait que ces rayons se propagent toujours en ligne droite, sans que leur marche soit influencée par la position du pôle positif, et l'on connaît leur propriété de produire de la fluorescence sur les parois du tube qu'ils frappent. On sait encore que ces rayons peuvent pénétrer dans de l'air à la pression atmosphérique pour y être absorbés sous production de lumière. D'autre part, d'après

les expériences de M. Hertz, les rayons cathodiques ne produisent pas d'effet sensible sur la position de l'aiguille aimantée. Si cette analogie du mode de propagation et leur propriété commune d'être absorbés sous transformation de leur énergie en lumière fluorescente permettent d'admettre que les rayons auroraux et les rayons cathodiques sont des phénomènes électriques de même ordre, les rayons auroraux ne produisent pas par eux-mêmes des perturbations magnétiques. Aussi ne connaissons-nous pas de rayons qui, tant qu'ils ne perdent pas d'énergie, produisent autour d'eux un champ; un système de rayons comme de lignes de force constitue un champ, mais ni les rayons ni les lignes de force ne produisent aucun effet hors de leur chemin.

Cependant, quand les rayons cathodiques pénètrent dans l'air, il s'y développe une forte odeur d'ozone, ce qui montre que les molécules de l'air sont dissociées par l'absorption de ces rayons, de sorte que, dans ces circonstances, l'air est devenu conducteur de l'électricité. Des expériences de MM. Arrhenius¹⁾ et Stoletow²⁾ montrent que l'illumination de l'air par des rayons ultra-violets, le met en état d'être parcouru par des courants électriques. Nous sommes donc fondés à admettre que le rayonnement auroral modifie l'état moléculaire de l'air qu'il pénètre, de sorte qu'il devient conducteur et que, par conséquent, il se produit des courants électriques, s'il y a des différences potentielles. On comprend donc que de grandes aurores peuvent apparaître, dans lesquelles il ne s'établit que des courants d'une faible intensité.

D'après cette explication le mouvement des aurores doit influencer essentiellement sur l'intensité des courants. En effet, imaginons une draperie aurorale tout à fait immobile et suspendue dans un air parfaitement calme. Il ne s'y établit des courants

¹⁾ Arrhenius: Wied. Ann. XXXIX, p. 332.

²⁾ Stoletow: Compt. rend. CVI, p. 1149. Journ. de phys. T. IX (II), p. 468. Compt. rend. CVIII, p. 1241.

que jusqu'au moment où toutes les parties de l'aurore ont reçu le même potentiel électrique, et cet état d'équilibre électrique se continuera, si des forces électriques extérieures ou des variations du champ magnétique terrestre ne changent pas l'égalité du potentiel. Mais si l'aurore est mobile, les courants sont entretenus par le mouvement et, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité des courants électriques dans une aurore doit être proportionnelle à la vitesse avec laquelle se meut le phénomène.

Les expériences que nous avons faites à Godthaab, montrent aussi que les aurores sensiblement immobiles ou d'un mouvement apparent lent, n'ont sur l'aiguille qu'un effet faible ou nul. Aussi dans ses «Nordlichtbeobachtungen» M. Weyprecht fait-il remarquer que les phénomènes auroraux immobiles n'impriment à l'aiguille aucune déviation. Mais tous les observateurs qui dans les pays arctiques ont fait des expériences magnétiques, conviennent que les aurores les plus agitées produisent les agitations les plus grandes de l'aiguille. A Godthaab nous avons souvent constaté que les ondulations des draperies aurorales sont toujours suivies des oscillations correspondantes de l'aiguille aimantée, et que plus les ondulations sont grandes, plus les oscillations de l'aiguille le sont aussi.

Le déplacement d'une aurore se fait quelquefois avec une telle vitesse qu'en quelques secondes l'azimut du phénomène peut varier plus de 90° . Nous ne savons que peu de chose sur la valeur vraie de la vitesse. Des mesures qu'on a faites à Godthaab et à Nanortalik (côte ouest du Groenland près du cap Farewell) donnent au mouvement des arcs auroraux une vitesse de 40^m-50^m p. s. pour la composante dirigée suivant le méridien magnétique ¹⁾. Mais puisqu'on n'a fait des pointés que sur le bord des arcs d'un mouvement apparent faible, le résultat ci-dessus doit être loin de représenter la valeur maxima

¹⁾ Adam Paulsen: Bull. de l'Académie Royale de Danemark 1889, p. 81.

de la vitesse avec laquelle peut se mouvoir une aurore boréale. Puisque, d'après notre hypothèse, le lieu d'émission des rayons auroraux est situé dans les régions supérieures de l'atmosphère, le mouvement d'une aurore doit représenter le mouvement des masses dans les plus hautes parties de l'air. M. Jesse a pu déterminer avec une grande exactitude la hauteur et la vitesse des nuages, dits lumineux. L'élévation de ces nuages au-dessus du sol dépassa parfois 80^{km} , et leur vitesse a atteint des valeurs entre 120^{m} et 300^{m} p. s.¹⁾.

Comme lieu d'émission du rayonnement auroral j'admets l'existence d'une couche d'électricité négative répandue dans les parties supérieures de l'atmosphère. On sait que seul le pôle négatif peut émettre un rayonnement électrique. L'électricité étant liée à la matière, sa distribution doit dépendre des mouvements des parties supérieures de l'atmosphère. Si donc les masses électriques ne sont pas distribuées de manière à donner à tous les points de l'atmosphère englobés par elles le même potentiel, elles doivent accuser leur existence par les variations du potentiel de l'air. Or, nous avons vu que, pendant l'apparition des grandes aurores, le potentiel de l'air près du sol diminue, et les expériences de M. Vedel montrent que, dans les rideaux auroraux, le potentiel de l'air va en diminuant vers le haut.

On admet en général, pour expliquer le potentiel de l'air, l'existence d'une couche d'électricité négative répandue sur la surface de la terre. Si cette couche n'est pas influencée par des forces électriques extérieures, elle doit se répandre uniformément à la surface du globe, et ce ne serait que l'enlèvement de l'électricité par les vapeurs d'eau qui ferait diminuer le potentiel de l'air près de la surface du sol. Dans ces circonstances, la valeur moyenne du potentiel de l'air serait la

¹⁾ O. Jesse, Sitzungsberichte d. k. preussischen Akademie XL. Meteorologische Zeitschrift 1890.

plus grande dans les pays polaires et la plus petite dans les pays équatoriaux. On sait que c'est l'inverse qui a lieu, ce qui peut s'expliquer en supposant une accumulation vers les pôles de l'électricité négative des hautes régions de l'atmosphère.

Le rayonnement auroral que nous avons supposé émis des molécules chargées d'électricité négative, produit une perte d'énergie qui, d'après la loi sur la conservation de l'électricité, ne peut avoir lieu qu'aux dépens d'une énergie donnée à la couche électrique par des forces extérieures.

Il ne me semble pas douteux que l'énergie aurorale soit d'origine solaire. C'est ce que prouvent le maximum de l'activité aurorale aux premières heures de la nuit et la diminution bien constatée de l'intensité des phénomènes auroraux pendant la nuit, fait qui montre que la source de l'énergie à laquelle est due l'aurore, doit être renouvelée chaque jour. C'est ce que montre encore la période de onze ans de l'activité du soleil et de l'aurore boréale.

On a vainement cherché à expliquer le phénomène auroral par des forces magnétiques et électriques émanant du soleil. Si l'énergie à laquelle est due l'aurore boréale, provient d'une action des rayons solaires, c'est dans les régions équatoriales que l'effet doit à cet égard être le plus intense. Or, puisque l'aurore n'apparaît que très rarement dans les basses latitudes et que le phénomène apparaît après le coucher du soleil, le rayonnement auroral doit provenir d'une perte d'énergie emmagasinée. J'admets donc par hypothèse que par insolation les molécules électrisées absorbent de l'énergie des rayons solaires et que la perte de cette énergie emmagasinée se fait sous forme d'un rayonnement auroral. D'après cette hypothèse, l'énergie aurorale des molécules électrisées est donc la plus grande dans les régions équatoriales, mais il n'en résulte pas que cette énergie doive aussi s'y perdre. L'action mutuelle entre des molécules identiques n'a pas pour résultat de changer leurs

qualités. Nous admettons que cette énergie potentielle est transformée, sous forme de rayonnement auroral, en énergie actuelle, surtout par l'effet des forces mutuelles entre les molécules électrisées qui ont été insolées et celles qui n'ont pas emmagasiné de l'énergie des rayons solaires. Si donc, par suite de mouvements dans les régions supérieures de l'atmosphère, les molécules insolées sont amenées vers les régions polaires, elles s'y mêlent avec des molécules non insolées, et y perdent, sous forme de rayonnement auroral, leur énergie emmagasinée. Là où cette perte est au maximum, se trouve la zone d'aurore proprement dite; en dedans de celle-ci, l'énergie est diminuée et les aurores y deviennent moins fréquentes. Ainsi la situation de cette zone ne dépend que des mouvements dans les plus hautes régions de l'atmosphère. Ce n'est donc qu'accidentellement que ladite zone englobe le pôle magnétique, mais ce n'est peut-être pas accidentellement que l'axe central de cette zone coïncide avec l'axe des basses pressions atmosphériques qui s'étend du point sud du Groenland jusqu'au Spitzberg.

L'explication de l'effet des rayons lumineux d'une haute réfrangibilité sur des molécules chargées d'électricité négative comme causé par une absorption de la force vive des rayons lumineux est une hypothèse que l'expérience peut difficilement justifier. Il sera difficile de faire des expériences sur de grandes masses de molécules chargées d'électricité négative, répandues dans un grand espace et soustraites à toute action extérieure. On sait en outre que l'effet de la lumière sur l'électricité négative dépend de la nature du corps chargé. La valeur de l'hypothèse que j'ai osé émettre, doit être cherchée dans la concordance entre les résultats qu'on en peut tirer et les faits.

Nous avons supposé que les molécules électrisées qui par le rayonnement solaire ont emmagasiné de l'énergie aurorale, sont amenées des régions équatoriales vers les pôles. Il se peut qu'elles y soient portées par des courants atmosphériques, mais

il se peut aussi que l'énergie qu'elles ont emmagasinée par insolation fasse varier les forces répulsives originelles entre les molécules électrisées, ce qui doit causer des mouvements produits par la variation des forces électriques. Quand les molécules électrisées qui contiennent de l'énergie aurorale, sont amenées vers les régions polaires, elles s'y mêlent avec des molécules électrisées qui n'ont pas été insolées, sous l'action desquelles elles perdent leur énergie emmagasinée sous forme de rayonnement auroral. Chez nous, les aurores commencent toujours vers le nord, d'où le phénomène se développe vers le zénith. Quand une aurore commence, les molécules qui ont été insolées perdent, d'après notre hypothèse, leur énergie emmagasinée et deviennent ainsi excitatrices pour de nouvelles molécules contenant encore l'énergie qu'elles ont absorbée dans les basses latitudes. Ainsi l'aurore se développe aussi en rétrogradant, et monte vers le zénith. Sous des latitudes moyennes, une aurore boréale peut donc avoir une grande étendue du nord au sud ainsi que de l'est à l'ouest.

Mais le courant qui amène les molécules électrisées de l'équateur vers les pôles, doit nécessairement descendre. Or, sous les hautes latitudes où a lieu la marche descendante, le phénomène ne peut pas en général avoir une grande étendue du nord au sud; on sait aussi que sous la zone aurorale proprement dite, l'aurore a sa plus grande étendue dans une direction parallèle à cette zone. Les rayons auroraux étant dirigés sensiblement suivant les lignes de force du champ magnétique terrestre, dans les pays arctiques les formes de l'aurore sont à peu près verticales et le phénomène y peut descendre jusqu'aux basses altitudes au-dessus du sol.

Il suit de notre hypothèse qu'une grande activité aurorale sous de basses latitudes, doit affaiblir l'intensité du phénomène dans les pays arctiques. C'est ce que montre aussi le fait signalé par M. Tromholt relativement au contraste de la fréquence de l'aurore sous les

basses latitudes et sous les hautes. Je reproduis ci-dessous les tableaux dressés par M. Tromholt et qui montrent le rapport entre les taches solaires et les aurores boréales dans quelques stations situées sur la côte occidentale du Groenland.

Rapport entre les taches solaires et l'aurore boréale.

Ivigtut ($\varphi = 11^{\circ} 12'$, $\lambda = -48^{\circ} 10'.5$).

Années.	Nuits à aurore.	Nombre rel. des taches solaires.
1869—71	245	324
1877—79	425	22

Godthaab ($\varphi = 64^{\circ} 11'$, $\lambda = -51^{\circ} 43'.5$)

1865—68	274	48
1869—72	138	339
1876—79	273	23

Jacobshavn ($\varphi = 69^{\circ} 13'$, $\lambda = -51^{\circ} 2'$)

1873—75	25	84
1877—79	78	9

De même, pour la côte ouest du Groenland, M. Tromholt a montré que le maximum de la marche annuelle de l'aurore tombe au milieu de l'hiver où, sous les latitudes moyennes, l'intensité de l'aurore est au minimum.

Les séries ci-dessus sont tirées des observations qui pour les diverses stations ont été faites par le même observateur. Si l'on compare entre elles les observations d'aurores boréales que possède l'Institut météorologique de Danemark pour les stations groenlandaises, on constate que le remplacement d'un observateur par un autre est toujours indiqué dans les notations par un changement brusque dans la fréquence des aurores boréales. C'est ce manque d'homogénéité des observations faites au même lieu par des observateurs différents, qui jette l'incertitude dans les nombres annuels d'aurores, et voilà pourquoi je n'ai employé que des observations qui, pour la même station, ont été faites par un seul et même observateur.

J'ai démontré ailleurs qu'un contraste analogue a lieu quant à la marche diurne et à la fréquence et valeur des perturbations de la déclinaison dans les pays tempérés et les arctiques¹⁾. Ainsi, à Godthaab, l'amplitude diurne de l'aiguille a été en croissant depuis 1789 jusqu'à la fin de 1791; à Paris, d'après les observations de Cassini, dont j'ai obtenu une copie grâce à la bienveillance de M. l'amiral Mouchez, l'amplitude diurne de l'aiguille aimantée a été en décroissant, pendant la même période. De 1852 à 54, à Point Barrow l'amplitude de la marche diurne régulière de la déclinaison était de 4.6 plus grande que pendant les mêmes mois en 1882—83, quoique, dans la première période, le nombre des taches solaires s'approchât d'un minimum, tandis que, dans la période de 1882—83, le nombre de taches solaires était au maximum. Il en est de même des perturbations, dont le nombre et l'énergie ont été plus grands dans la première période que dans la dernière. Le parallélisme entre l'allure diurne de la déclinaison et l'activité aurorale confirme la généralité du fait, trouvé par M. Tromholt, concernant le contraste dans la fluctuation de la fréquence des aurores sous les basses latitudes et sous les hautes.

Nous avons supposé que les molécules électrisées auxquelles l'insolation a donné de l'énergie aurorale, perdent cette énergie par l'action des molécules qui n'ont pas été insolées. Il n'en résulte pourtant pas que les molécules qui contiennent de l'énergie emmagasinée, ne puissent pas la perdre sans être mises en présence des molécules qui n'ont pas subi l'action des rayons solaires. Dans ces conditions, la perte d'énergie ne se fait en général que lentement, de sorte que le rayonnement auroral faible ne peut pas produire un phénomène d'aurore sensible. C'est aussi un fait bien connu des astronomes qui s'occupent des recherches spectroscopiques que, sur une grande étendue du ciel, on peut

¹⁾ Adam Paulsen: Bull. de l'Académie Royale de Danemark 1889 p. 179. Rapport de la conférence météorologique de Munich, p. 93.

souvent voir, même sous les basses latitudes, la ligne principale de l'aurore boréale, sans qu'il y ait trace visible d'aurore.

La couche électrique négative que nous avons supposée être le lieu d'émission du rayonnement auroral, ne peut pas être produite par des sources existant sur la terre, puisque la masse correspondante d'électricité positive ne s'y trouve pas.

On peut admettre que la séparation des deux électricités dont la négative est restée dans les couches supérieures de l'atmosphère, est produite par une révolution cosmique, par exemple la séparation de la terre d'avec le soleil. Mais de quelque manière que soit produite cette électricité, elle a dû, au moment de sa production, se répandre sur les limites de notre atmosphère.

Nous savons que, dans les pays arctiques, les aurores peuvent descendre jusqu'au-dessous des cimes des montagnes. On peut donc admettre que la charge négative de la terre, charge dont on admet l'existence pour expliquer le potentiel de l'air près de la surface du sol, doit son origine aux aurores boréales.

Dans un mémoire intitulé : « Du spectre de l'aurore boréale », Ångström s'exprime ainsi¹⁾ : « Le spectre de la lumière boréale se compose de deux spectres qui apparaissent simultanément, mais n'en possèdent pas moins, selon toute vraisemblance, une origine différente.

L'un est produit par la lumière jaune, dont les aurores boréales, même les plus faibles, sont toujours accompagnées. Quelquefois, dans les nuits d'hiver sans nuages, on aperçoit cette lumière rayonnante de tous les points de la voûte céleste.

L'autre spectre consiste en raies ou bandes d'une lumière extrêmement faible, et qui n'atteignent que dans les aurores boréales très fortes un degré d'intensité suffisant pour qu'il soit possible de déterminer leur position avec une certaine approximation. »

¹⁾ Ångström: Journal de physique. Vol. 3 [I.] p. 210.

Ångström admet que les bandes faibles qui constituent le second spectre, sont produites par des courants électriques, puisque plusieurs de ces bandes coïncident sensiblement avec les lignes dans le spectre du pôle négatif. Des expériences ultérieures faites par différents physiciens et astronomes, confirment cette opinion et on convient en général de regarder ladite partie du spectre auroral comme une modification du spectre de l'air.

Pour la ligne caractéristique qu'on trouve dans le spectre de toute aurore boréale, Ångström a émis l'opinion que «la seule explication possible de la ligne jaune est la fluorescence ou la phosphorescence. Comme la fluorescence peut être produite par des rayons ultra-violet, il est facile de concevoir une décharge électrique qui, bien que faiblement lumineuse, soit cependant assez riche en lumière ultra-violette pour produire une fluorescence suffisamment forte.»

Cette explication de la raie caractéristique du spectre de l'aurore boréale n'est pas généralement admise. En considérant l'aurore boréale comme un phénomène produit par des courants électriques, il serait difficile de trouver dans une fluorescence de l'air la cause de l'apparition de cette ligne. On n'a jamais vu la moindre trace d'une telle ligne dans les spectres de décharges électriques à travers des tubes à air raréfié. Comment donc expliquer que cette ligne soit toujours la prédominante dans le spectre d'aurore boréale, tandis que les autres lignes sont toujours très faibles, quand toutefois elles apparaissent? On a émis l'opinion que la ligne jaune-verdâtre doit son existence à un gaz inconnu «peut-être d'un poids spécifique très petit, de sorte qu'il ne se trouve que dans les régions supérieures de l'atmosphère» ¹⁾. Mais l'aurore boréale peut descendre jusqu'aux couches très basses de l'atmosphère; la lumière de l'aurore est toujours la plus intense vers le bas du phéno-

¹⁾ Scheiner: Die Spectralanalyse der Gestirne, p. 341.

mène, et l'intensité de la ligne principale du spectre est toujours la plus grande dans les parties les plus lumineuses de l'aurore. En général on convient aussi que l'origine de la raie caractéristique du spectre auroral, reste inexplicée.

Toutefois, l'explication qu'a donnée Ångström de l'origine de la ligne principale du spectre auroral comme provenant d'une fluorescence de l'air, est une conséquence nécessaire de l'explication que j'ai donnée de la nature de l'aurore boréale. Seulement ce n'est pas la lueur des courants électriques supposés qui produit la fluorescence, mais l'absorption du rayonnement auroral. Quant à l'autre spectre, qui est toujours faible, notre hypothèse, conformément à l'explication généralement admise, lui assigne pour origine des courants électriques. Mais puisque ceux-ci ne sont qu'un effet secondaire de l'aurore, le spectre de l'aurore boréale ne consiste réellement que dans la ligne jaune-verdâtre découverte par Ångström en 1867.