Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 114 (1933)

Artikel: L'ionosphère et la météorologie

Autor: Lugeon, Jean

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90392

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: 05.07.2025

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

L'ionosphère et la météorologie

Par

JEAN LUGEON
Directeur de l'Institut National Météorologique de Pologne (Varsovie)

«Mon inquiétude n'est
plus terrestre . . .»

Monsieur le Conseiller fédéral,
Messieurs les Présidents,
Mesdames, Messieurs,

Il est un fait avéré que la télécommunication à grande distance n'est rendue possible que par l'existence, dans les hautes parties de notre atmosphère, d'une région électrisée, à structure fort complexe, qui joue le rôle d'un prisme renvoyant vers le sol la plupart des rayons hertziens émis par nos stations de T. S. F. Cette transmission peut d'ailleurs se faire aussi comme celle des ondes sonores, qui se déplacent dans un tuyau circulaire, ainsi que le prévoit la théorie acoustique.

Il y a huit ans, à peine, que cette haute région, qu'on a dénommé la couche de KENNELLY-HEAVISIDE, était inexplorée. On savait bien, d'après certaines hypothèses du magnétisme terrestre et de la théorie de la propagation des ondes de Hertz, que son altitude devait être voisine de 100 kilomètres, mais aucun moyen ne nous permettait d'en fixer les variations journalières et d'étudier sa constitution électrique. Aujourd'hui, grâce aux progrès foudroyants des radiotechniciens, nous possédons l'appareillage nécessaire pour déceler avec une précision déjà réjouissante les principaux éléments constituant la structure et la texture de l'*ionosphère*.

L'*ionosphère!* J'emploie à dessein ce nouveau vocable imaginé en Angleterre, voici cinq ans, car il définit précisément cette

région nouvellement découverte, où il y a autant à faire pour les astrophysiciens que pour les radiotechniciens et même les météorologistes. Non pas que je veuille par là jeter la pierre à feu HEAVISIDE et moins encore à l'éminent président de l'Union Radio-Scientifique Internationale, le professeur KENNELLY, qui presque simultanément ont eu la géniale idée de concevoir la couche qui porte leurs deux noms, mais, à l'heure actuelle, on est obligé d'envisager la coexistence de plusieurs couches superposées, dans cette immense zone comprise entre les altitudes de 80 et de 1000 kilomètres, ou plus.

C'est là que se meuvent les électrons luminescents des aurores polaires. C'est là que, d'après DAUVILLIER[1], vous voyez se dessiner la lumière zodiacale, qui ne serait autre chose que le prolongement de la couronne solaire au niveau de l'orbite terrestre. C'est là, aussi, que certains bolides s'allumeraient et, enfin, dans ces hautes régions, le flux électronique de notre univers galactique produit une multitude de phénomènes d'ionisation parmi lesquels le Gegenschein, que régissent les lois les plus récentes de la théorie quantique ou d'une manière plus générale de la mécanique ondulatoire.

Avant de chercher les liens entre l'ionosphère et la météorologie, examinons d'abord la composition globale de notre atmosphère, à la lumière de la physique contemporaine.

Au-dessous des hautes couches de l'ionosphère, où les phénomènes de la pesanteur et par conséquent de la thermodynamique semblent être entièrement remplacés par des phénomènes électroniques, nous situerons la stratosphère, elle-même divisée en plusieurs couches. Il faut convenir à cette place que l'hypothèse du géocoronium a vécu: la composition moléculaire de la stratosphère est moins compliquée que l'avait supposé WEGENER, notre regretté membre honoraire, mort pour la science au Grœnland.

Entre 80 et 20 kilomètres, nous croyons connaître une région apparemment neutre pour les ondes hertziennes, mais où se jouent des phénomènes d'une extrême importance pour le règlement des conditions d'existence de notre planète.

C'est dans la haute stratosphère que la partie mortelle du spectre solaire est absorbée vers les longueurs d'onde de 2800

[1] A. DAUVILLIER: Recherches de physique cosmique. Extrait de la R. G. E., t. XXXI, Paris 1932.

Angström et ce processus donne lieu à la production d'une couche d'ozone, découverte par Charles Fabry et Buisson en 1912. Le rôle protecteur de cette couche n'est plus à mettre en doute. Sans elle la vie n'aurait pas été possible ici-bas.

Si l'on ne s'est pas encore entendu définitivement sur la localisation de la couche d'ozone, depuis la conférence de la Sorbonne en 1929, convoquée par Fabry et Dobson, on admet cependant universellement que son épaisseur réduite est voisine de 3 millimètres. Pour la plupart des chercheurs, la couche se trouve à 50 kilomètres d'altitude, précisément dans cette région où les ondes sonores semblent rencontrer une surface qui les renvoie au sol.

Descendons plus bas; nous arrivons dans la basse stratosphère sondable par des ballons, où la thermodynamique reprend force loi. C'est là que le regretté Wigand, de la Deutsche Seewarte, retient le record d'altitude avec ses météorographes, par environ 36 kilomètres.[1] Un peu plus bas, entre 30 et 20 kilomètres, vous trouvez la région des nuages perlés de Störmer qui apparaissent au crépuscule. Enfin, beaucoup plus bas, entre 20 et 10 kilomètres, où les hommes ont toutes les chances de pouvoir naviguer avec des machines plus lourdes que l'air, nous définirons la tropopause, qui à mon avis a été improprement baptisée stratosphère, car, en fait, depuis les nombreux sondages de Jaumotte et Bjerknes, on y constate des mouvements ondulatoires à grande amplitude, qui seraient donc en contradiction avec l'idée d'une structure stratifiée. La tropopause est en liaison mécanique et thermique étroite avec la troposphère, où nous vivons. Ces deux couches ne sont séparées visiblement que par la région des cirrus, ces fins nuages qui participent intimément aux fluctuations du temps et dont l'altitude décroît de 17 kilomètres à l'équateur à 7 kilomètres au pôle. Car, j'ai hâte d'ajouter, les chiffres précédents que j'ai cités ne concernent que les latitudes moyennes. Toutes les couches que nous venons de passer en revue semblent inclinées, en épousant autour du géoïde la forme d'ellipsoïdes dont l'aplatissement dépasse notablement celui du globe. Je crois avoir montré, d'après des sondages électromagnétiques simultanés à El Goléa et à Zurich, que l'inclinaison de la

[1] A. Wigand: Hochfahrten von Registrierballonen. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosph. *17*. p. 286. 1931. — J. Bartels: Überblick über die Physik der hohen Atmosphäre. Elektrische Nachrichten-Technik, Bd. 10, Sonderheft. Springer, Berlin 1933.

couche de KENNELLY-HEAVISIDE devait atteindre environ $^{8}/_{1000}$, soit 130 kilomètres à l'équateur et 71 kilomètres au pôle.[1]

En fait, notre atmosphère est assimilable à un édifice très élevé, où l'on étudie à chaque étage un chapitre différent des sciences physiques et géophysiques. Si le météorologiste veut bien administrer cet énorme institut et surtout s'il veut coordonner dans sa pensée les efforts d'un monde considérable de savants pour en tirer la quintessence à des fins pratiques — je pense à la prévision du temps à longue échéance — il doit posséder aujourd'hui un véritable esprit à la D'Alembert.

Au rez-de-chaussée de notre atmosphère, dans la biosphère, vous voyez des botanistes, des forestiers, des hydrographes interroger le météorologiste sur les problèmes les plus variés de la radiation solaire, de la respiration du sol, de la sudation, de l'évaporation, des condensations occultes, bref sur l'ensemble du cycle des précipitations qui fera pendant cent générations couler autant d'encre que de pluie. Puis dans la troposphère, au deuxième étage, une pléiade de cliniciens pressent les instituts météorologiques pour obtenir des informations sur la qualité thérapeutique de l'air en mouvement, pour définir les aérosols, la déperdition calorifique au couchant, l'humidité, le degré de continentalité du climat, sans négliger l'action probable des agents électriques, des gros ions, des poussières, de l'effet inducteur des décharges lumineuses à grande distance ou de l'action combinée des microvariations de la pression barométrique sur la pression sanguine ou sur les centres d'équilibre. Dans la couche respirable se jouent les échanges les plus variables et l'imagination fantaisiste y pourra combiner mille processus. La statistique nous enseigne que plusieurs siècles sont nécessaires pour défricher ces domaines de la science de corrélation, car l'ensemble des phénomènes météorologiques est réglé par des cycles qui s'emboitent les uns dans les autres et dont les périodes sont encore indéfinies, malgré le premier siècle d'observations que nous possédons.

Passons au troisième étage, dans la troposphère libre. C'est là, à la fois, le royaume du météorologiste empiriste, de celui qui établit la classification des nuages, qui fait la synthèse des types de temps, qui décrit dans les trois dimensions les états dynamiques et ther-

[1] JEAN LUGEON: Le sondage simultané par les parasites atmosphériques à Zurich et en Sahara. *C. R.*, t. 191, p. 525, Paris, 1930.

miques des corps d'air, selon les écoles autrichienne et française ou des fronts, selon les méthodes norvégiennes. Mais, si ce météorologiste empiriste veut être sincère, il ne doit pas seulement s'inspirer des méthodes du naturaliste qui décrit, qui définit et qui classe, il doit avant toute chose être doté d'un esprit de mathématicien de première force. On ne saurait créer une œuvre sérieuse en météorologie dynamique, sans la fonder sur les équations de LAGRANGE ou les géniales conceptions de BJERKNES, sur l'extrapolation des lois fondamentales de l'hydrodynamique et leur extension aux éléments compressibles, aux gaz. C'est là, que nous autres, gens de métier, nous assistons depuis quelques années à cette remarquable association de l'empirisme, créateur, et de l'abstraction, organisatrice. Pas de plus beau mariage dans l'aristocratie de la pensée scientifique, que la fusion de ces molécules chaudes et froides, qui selon le concept mathématique de BJERKNES et SOLBERG engendrent un cyclone le long du front polaire.

La troposphère où nous vivons, c'est aussi la pierre d'achoppement de la météorologie officielle, de ce qui fait vivre les gens de carrière, je parle des services de prévision du temps et de l'organisation météorologique internationale.

Nous dépensons en Europe plus de 10 millions de francs-or par année pour prévoir le temps avec une exactitude de 75 %, tout au plus. Et si je dis que notre budget est 10 fois trop modeste, c'est que le prix d'amélioration de 1 %, seulement de la moyenne de nos prévisions, coûterait une gigantesque organisation supplémentaire de sondages journaliers par avions et une intensification considérable des échanges radiotélégraphiques d'observations.

Il y a surcroît de médecins, d'ingénieurs, de littérateurs, dit-on, mais il y a beaucoup trop peu de météorologistes. La prévision du temps est donc à la fois une question d'argent et de personnel qu'il est souvent difficile de recruter, puisque la météorologie est une sorte de monopole d'Etat.

Trop peu d'hommes, aussi, pour appliquer un trop grand nombre de méthodes, tant empiriques que mathématiques, parmi lesquelles il faudra bientôt opérer une sélection impartiale, en ne cherchant à pousser les investigations que dans des directions dignes d'adaptations pratiques. Le professeur SCHMAUSS de Munich, dans une allocution à la réunion des directeurs d'instituts météorologiques du monde, à Copenhague en 1929, s'est justement inquiété

du remarquable désordre qui règne parmi les chercheurs. Il est temps que des organisations internationales coordonnent les recherches, si non c'est le gaspillage des pauvres moyens dont nous disposons. Je souhaite voir une fois l'Association météorologique internationale, cette section de l'Union géodésique et géophysique, prendre courageusement l'initiative, en forçant les Etats à appliquer un programme de recherches uniformes, dans le domaine de la synoptique. Il faut que des «résolutions» on passe une fois aux actes. Il est inutile de jeter mille hypothèses séduisantes sur le papier pour la gloire d'une carrière, si nous nous trouvons pendant des siècles dans l'impossibilité de les vérifier.

Il est vrai que la jeune génération des météorologistes diffère totalement, comme formation académique et comme méthode, de celle d'il y a vingt ans. Dans nos investigations nous nous trouvons en face d'un véritable embarras de richesses, parce qu'il y a trop de facteurs à observer et trop d'inconnues à évaluer.

J'ignore si c'est un signe des temps, mais ceux de mon âge envisagent les problèmes de la troposphère sous un jour plutôt sombre. Je n'irai toutefois pas jusqu'à sonner le glas funèbre d'un Jean Mascart, auquel la prévision du temps paraissait impossible. Mais sans être pessimiste, il faut rester honnête. Malgré l'ingratitude de notre clientèle continuons à accumuler les chiffres et les diagrammes: nous aurons au moins cette satisfaction de penser que la dixième génération de nos descendants saura prévoir le temps avec une exactitude de 99 %, les courbes de Gauss semblent le prouver.

* * *

Gravissons quelques marches, nous nous trouvons dans la tropopause, dont la thermodynamique était presqu'inconnue jusqu'à ce que Jack Bjerknes [1], grâce au merveilleux petit météorographe du Colonel Jaumotte, directeur de l'Institut Météorologique Royal de Belgique, nous en révéla les lois fondamentales. Le savant norvégien nous donne une image préliminaire de ces oscillations à large amplitude qui semblent parfois être en altitude l'intégration d'un ensemble fort complexe de perturbations de la basse atmosphère. Dans toute sa hauteur, la tropopause semble participer aux fluctuations du temps, mais il est encore trop tôt pour dire si ces

[1] J. Bjerknes: Exploration de quelques perturbations atmosphériques à l'aide de sondages rapprochés dans le temps. Geofysiske Publ. vol. IX. no. 9, Oslo, 1932.

mouvements sont en avance ou en retard sur les successions des images synoptiques que nous dessinons en projection horizontale. Il est téméraire, aussi, de fixer déjà des lois de corrélation. J'ose d'ailleurs espérer que les mouvements de l'air, dans la tropopause, ne se révéleront pas comme un moyen infaillible et indispensable pour préciser la diagnose des états atmosphériques. Car je me rends trop bien compte que jamais aucun Etat n'accordera les crédits pour envoyer chaque jour 24 ballons jusqu'à 20 kilomètres d'altitude. Il faudrait alors renoncer à l'espoir d'améliorer la prévision du temps.

Pourtant, un moyen économique permet de suivre, au moins dans leur projection, une partie de ces grands courants de la tropopause et même de la stratosphère, c'est l'observation des nuages perlés de Störmer. L'illustre mathématicien d'Oslo vient une fois de plus d'offrir un magistral cadeau à ses disciples.[1] Il a mesuré avec précision l'altitude de ces nuages nacrés qui peut atteindre 82 kilomètres, ce qui jette un singulier trouble parmi les partisans de la séparation des mouvements stratosphériques et troposphériques, d'autant plus que Störmer nous dit que ces nuages remarquables sont en relation avec les perturbations hiémales de l'Europe septentrionale. Il en découlerait que l'un des trois processus de condensation: la convection, la détente ou le mélange se répercuterait jusqu'aux confins de l'atmosphère thermodynamique, c'est-à-dire jusqu'à la base de l'ionosphère, que nous dénommerons ultra-stratosphère.

* * *

J'ouvre ici une parenthèse au sujet du sondage de la basse stratosphère et de la troposphère.

La technique des sondages aérologiques a fait un notable progrès depuis que Bureau, Duckert, Moltchanoff et d'autres ont équipé des ballons d'appareils transmetteurs T. S. F. envoyant automatiquement par les ondes les trois éléments température, pression, humidité, par un système de contacts solidaires des bielles du météorographe. Si l'on obtient ainsi instantanément au sol les principales caractéristiques des couches d'air que traverse le ballon, il n'en reste pas moins que l'opération est coûteuse et qu'elle ne saurait pas être effectuée journellement en plus d'une dizaine de stations de notre continent. Par ailleurs, ces ballons ne peuvent que dans des cas exceptionnels dépasser l'altitude de 20 kilomètres. Il est

[1] Carl Störmer: Nuages dans la stratosphère. C. R., t. 196, p. 1824, Paris, 1933.

rare, malgré toutes les précautions prises pour donner au caoutchouc les coefficients de dilatation désirables, qu'on atteigne 25 kilomètres, avec un ballon chargé de quelques centaines de grammes.

Aussi, je rêve toujours à cette méthode de sondage électromagnétique de la température des couches d'inversion — voir d'autres inégalités dans la stratification, et, partant, de toute la basse atmosphère — laquelle, après avoir été approuvée par d'éminents physiciens, me paraît devoir un jour faciliter considérablement la tâche de l'aérologie.[1] Je vais préciser.

Depuis deux ans que mon service quotidien de sondages aérologiques par cerfs-volants fonctionne normalement à l'Observatoire Aérologique de Jabłonna, au centre de la Pologne,[2] j'ai pu retrouver sur les téphigrammes et les diagrammes des parasites atmosphériques enregistrés à la même place des coïncidences de courbures identiques à celle que j'avais découvertes en Suisse, en superposant les isothermes évaluées d'après les stations de montagne et les diagrammes de mon „atmoradiographe“ de Zurich. Ce n'est assurément plus là une coïncidence de hasard. Par les fortes inversions de température que trahit la brume ou le brouillard, en temps anticyclonique, il y a une recrudescence des troubles radioélectriques au moment du lever du soleil, lorsque les rayons commencent à éclairer l'inversion. L'effet ne peut pas être de nature purement électrique, la température y joue son rôle, ou pour le moins elle représente indirectement une des grandeurs scalaires qui entre dans un processus difficile à interpréter dans l'état actuel de nos connaissances des propriétés électromagnétiques et ioniques des basses couches atmosphériques.

Mes constatations se trouvent en accord avec les mesures de la densité électrique de l'air de Wigand sur le Graf Zeppelin.[3] Le savant allemand avait trouvé dans la couche d'inversion de température, ci-devant la mer de brouillard qui caractérise le temps

[1] Jean Lugeon: Une méthode pour sonder l'atmosphère à l'aide des perturbations du champ électromagnétique au passage de l'anneau crépusculaire. C. R., t. 188, p. 1114, Paris 1929.

[2] Jean Lugeon: *L'Institut National Météorologique de Pologne.* Organisation du Bureau Central Météorologique — Observatoire Aérologique — Observatoire Maritime — Station magnétique. In-8°, 222 p., 95 fig. Varsovie, juin 1932.

Cette ouvrage contient une notice bibliographique complète des travaux de l'auteur jusqu'en 1932.

[3] Wigand (Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, 1925).

helvétique hiémal, une accumulation de gros ions formant une sorte d'écran électrique, nettement séparé des couches inférieures ou supérieures. Il est avéré aujourd'hui, depuis que WIGAND et SCHMAUSS ont défini l'état colloïdal des dites couches d'inversion, que certaines variations de leur état électrique sont liées aux variations de leur température absolue. Déterminer expérimentalement une de ces grandeurs, reviendra à fixer l'autre par le calcul, c'est du moins ce que j'espère, tellement cela est important pour la météorologie pratique. Mais par quel moyen instrumental arrivera-t-on jusque-là? Est-ce par l'emploi des ondes sonores, des ultra-sons, des radiations lumineuses visibles, du bombardement corpusculaire, des ondes hertziennes, je ne puis pas encore me prononcer. On peut d'emblée simplifier les hypothèses de travail, en éliminant un certain nombre de processus secondaires. Ainsi, le fait même que la mobilité et l'espace libre des petit ions, et, à plus forte raison des ions intermédiaires et des ions de Langevin, soit tout à fait impropre à agir sur les fréquences moyennes des ondes de Hertz, aux pressions barométriques normales, jusqu'à celles de l'ordre du centimètre, prouve déjà que le sondage de la troposphère ne saurait se faire par une réaction consécutive à une excitation en moyenne fréquence. Par contre, il en est tout autrement pour les ondes à très faible fréquence, voisine des ultrasons, comme aussi, de l'autre côté du spectre solaire, par les fréquences qui provoquent l'effet photoélectrique. J'ai l'impression que la condensation ou la dissipation des gros ions, dans l'espace libre des couches dont nous parlons, est liée intimément à la radiation solaire. Les faits parlent d'eux-mêmes, l'état électrique de la couche d'inversion change au moment même où les premiers rayons du soleil levant viennent l'éclairer. Je l'ai observé à plusieurs reprises dans les Alpes entre 1000 et 3000 m. et trois fois de suite à l'Observatoire Vallot, au Mont-Blanc, à 4350 m.[1]

Le processus physique de ces phénomènes est assurément compliqué et j'aimerais voir, sur la base de ces observations, s'ouvrir un chapitre nouveau dans la physique mathématique, où l'on posera en formules les hypothèses qui englobent d'effet à cause les variations concomitantes des processus d'ionisation quantique ou photoélectrique et la température du milieu gazeux, cela aux pressions

[1] JEAN LUGEON: Mesures de l'ionisation du champ électrique et des atmosphériques au Mont-Blanc. C. R. t. 191, p. 110, Paris 1930.

barométriques respirables. Je le répète, si l'on peut ausculter l'un des facteurs par ces moyens de sondage indirect, la simple méthode des comparaisons permettra certainement de fixer en laboratoire les variations de l'autre. Cela a été appliqué maintes fois en géophysique et en astrophysique. Que je rappelle ici simplement les procédés élégants de Végard pour déterminer, par les séries de rotations des bandes de l'hydrogène, la température à l'intérieur des aurores boréales.[1]

Les récentes investigations de Yves Rocard[2] fixent déjà un jalon dans le domaine ardu que nous devons défricher. Vous voyez cet auteur introduire judicieusement l'élément électrique dans la théorie de la propagation du son. Il arrive à une conclusion de la plus haute importance, en annonçant que dans le domaine des transparences optiques de l'atmosphère, supérieures à 0,80 par kilomètre, le coefficient d'absorption sonore et le coefficient d'absorption lumineuse, tous deux proportionnels au nombre de gros ions par centimètre carré, doivent être proportionnels entre eux. Or, vous savez que la vitesse de propagation du son est non seulement liée à la température, mais également à la pression barométrique. Ainsi, il est certain qu'à des pressions aussi petites que celles qu'on mesure dans la haute atmosphère, le son se propage extrêmement lentement. Connaissant donc la loi de variation de cette vitesse et celle de l'ionisation, on en pourra peut-être déduire celle de la température ou inversément. C'est une question de déterminer x inconnues dans x équations physiquement comparables entre elles. Ainsi, si un gros ion perd $\frac{8 \times 10^5}{n}$ molécule par seconde et par degré, tout de suite après une élévation de température brusque, vous voyez que la vitesse de propagation du son en sera modifiée d'une quantité proportionnelle calculable. Changez le nombre des ions ou leur espace libre par le flux électonique de la radiation solaire et introduisez à la fois une variation de pression barométrique, en l'occurence l'altitude, il devra en résulter une variation de température, également calculable.

C'est cette grossière esquisse que des physiciens doivent préciser, en dotant les météorologistes de l'appareil idéal qui permettra

[1] L. Vegard: Results of investigations of the aurorol spectrum during the years 1921—1926. Geofysiske Publ., vol. IX, Nr. 11, Oslo 1932.

[2] Y. Rocard: L'absorption du son dans l'atmosphère: Une tentative d'explication — Journal de Physique. T. IV, Série VII, Nr. 3, mars 1933.

au sol de déterminer la température jusqu'aux confins de la stratosphère. A nous, météorologistes et astrophysiciens, le soin d'adapter l'appareil en question à la nature. C'est peut-être tout aussi difficile. Car il y a dans notre atmosphère des phénomènes d'inertie électromagnétique crépusculaires, qui sont susceptibles de modifier dans leur base, même, les fondements physiques de la nouvelle théorie thermoïonique atmosphérique, qui doit être créée en laboratoire fermé.

Si j'ai dit que je n'entrevoyais pas exactement la fréquence qu'il faudrait mettre en œuvre pour faire le *sondage thermoïonique* de la stratosphère, j'aimerais tout de même attirer encore une fois l'attention sur l'utilisation directe des rayons solaires. A mon humble avis, on n'a tiré jusqu'ici qu'un profit beaucoup trop modeste de ce phénomène perpétuel et merveilleux qu'est le balayage de toute notre atmosphère par les rayons rasants au couchant et au levant. Pendant le jour, l'application de la loi de Bouguer-Langley a permis à Fabry et Buisson de déterminer l'altitude de la couche d'ozone, mais, au passage des anneaux crépusculaires, combien d'autres choses ne peut-on pas déterminer? La combinaison du mouvement de balayage des rayons solaires avec des rayons de fréquences adéquates, issus de la terre, permettra, j'en suis certain, d'échafauder bientôt une nouvelle technique de sondages. J'y reviendrai au paragraphe de l'ionosphère.

J'ai hâte d'ajouter que non seulement les phénomènes physiques fort complexes que j'ai cités, sont susceptibles d'être mis à profit pour nous renseigner sur les éléments des couches inaccessibles. Je suis persuadé que le jour où l'on arrivera à produire électroniquement des sources cathodiques dépassant 6000 degrés *K*, serait-ce même par la désagrégation de l'atome, que ce jour-là on pourra sonder sans difficulté dans toute l'échelle des pressions barométriques. On créera peut-être des aurores artificielles ou toutes sortes d'autres phénomènes luminiscents aux altitudes de son choix, et, par comparaison spectrographique, on en déduira la température et la pression à n'importe quelle altitude. Je vois particulièrement s'appliquer à ces genres d'expériences des rayons cathodiques très pénétrants, capables de vaincre l'absorption sous toute pression et dont la courbure serait réglée par le champ magnétique terrestre, afin que, partis d'un point du globe, ils reviennent au récepteur voisin, raconter ce qu'ils ont éprouvés en cours de route.

Mais j'arrête ma dissertation. Je n'ai eu que le dessein de vous donner une idée du fécond domaine en recherches extrêmement variées, que peut présenter le sondage de notre basse atmosphère.

* * *

Continuons notre excursion dans la direction du firmament. Nous sommes déjà à 30 ou 40 kilomètres. D'après les ballons de Wigand, il circule là encore des vents violents qui semblent d'ailleurs atteindre des régions beaucoup plus élevées, ainsi que Störmer vient de le dire. On peut donc en conclure que les lois de la thermodynamique régissent toute la stratosphère, malgré que la matière y soit extrêmement raréfiée. Toutefois, vers 30 à 60 kilomètres d'altitude, il se passe, en plus, des réactions physico-chimiques de la plus haute importance pour le règlement de notre existence et je reviens, par là, à cette couche d'ozone, dont je vous entretenais tantôt.

Vous savez que l'absorption que subissent les radiations des astres en traversant l'atmosphère produit dans le spectre des bandes telluriques, dont on peut exactement déterminer la fréquence en unités Angström. L'absorption est particulièrement forte pour les radiations ultra-violettes et pendant longtemps elle est restée inexplicable. Quand on s'approche de la longueur d'onde de 3000 Å, l'absorption augmente dans des proportions considérables et s'arrête brusquement au voisinage de 2900 Å. Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer ce phénomène. Ou bien, disait-on, le soleil et les astres n'envoient pas de rayons de courte longueur d'onde, ou bien ce sont entièrement les gaz atmosphériques qui retiennent ces ondes. C'est seulement cette seconde hypothèse qui est aujourd'hui plausible.

On a cherché aussi dans l'absorption une explication de la couleur bleue du ciel, qui ne serait pas qu'un simple phénomène de diffusion. A ces dernières investigations se rattachent les noms de Cornu et surtout celui de Hartley, qui a découvert la très importante bande s'étendant de 3200 à 2300 Å. C'est l'étude de la bande de Hartley qui a conduit Fabry et Buisson — je vous l'ai déjà dit — à généraliser l'idée que celle-ci n'était autre chose que le témoignage d'une importante couche d'ozone dans notre atmosphère.[1] Ces propriétés spectrographiques mises en lumière par

[1] Ch. Fabry et H. Buisson: L'absorption des radiations dans la haute atmosphère. Mémorial des sciences physiques. Fasc. XI, Paris 1930.

Ch. Fabry: L'ozone de la haute atmosphère. Scientia, janvier 1931.

les deux illustres savants français ont démontré que l'absorption spectrale d'une couche d'ozone gazeux pur de $^1/_{40}$me de millimètre d'épaisseur suffisait à réduire de moitié le rayonnement qui la traverse. A plus forte raison une couche de 3 millimètres, dans la stratosphère, masquera toute la partie de l'extrême ultra-violet solaire compris entre les longueurs que je vous ai citées.

L'ozone atmosphérique peut aussi être retrouvé dans les bandes de Chappuis et de Huggins, mais cela m'entraînerait trop loin de vous résumer la masse de travaux qui ont paru au cours de ces dernières années sur ce sujet. Qu'il me suffise de vous dire que la plus grande partie de l'ozone n'est pas localisée dans la basse atmosphère. Des longues séries d'analyses chimiques de l'air à Montsouris l'ont démontré. Ce gaz reste donc suspendu constamment au milieu de la stratosphère, comme l'ont indiqué Fabry et Buisson, en considérant la décroissance de l'intensité d'une radiation pendant le mouvement de rotation de la terre. L'altitude moyenne est de 50 kilomètres. Götz, à Arosa, a trouvé des chiffres parfois inférieurs en appliquant les méthodes d'évaluation d'altitude de Dobson; toutefois, il faut noter que la radiation de 1850 Å est complètement absorbée par 10 mètres d'air à la pression barométrique ordinaire, ce qui laisse supposer, en appliquant la loi exponentielle de diminution de la densité, que la radiation en question ne peut pas pénétrer à une altitude moindre que 40 kilomètres.

Comment se produit l'ozone? C'est ce qu'il est fort difficile d'expliquer. Chapman a examiné les équilibres des molécules O, O^2, O^3 à diverses pressions et sous l'effet des radiations.[1] Il est arrivé à la conclusion que la production, comme la dissociation peuvent être antagonistes. L'effet photoélectrique ne semble pas jouer un rôle prépondérant à 50 km.; par contre, il est probable que le bombardement cathodique venant du soleil ou peut-être même le rayonnement réfléchi par la lune, régularise la production diurne et nocturne de l'ozone, dont la quantité journalière est remarquablement constante. Cette idée semble d'ailleurs s'associer aux théories astrophysiques séduisantes de Dauvillier.

L'influence de l'ozone sur l'équilibre thermique de l'atmosphère doit être énorme, car toute l'énergie rayonnante absorbée par l'ozone

[1] S. Chapman: The absorption and dissciative or ionizing effect of monochromatic radiation in an atmosphere on a rotating earth. Proc. Phy. Soc. *43*, p. 26 et 483. Londres 1931.

est transformée en énergie calorifique. Il en résulte que nous devons rencontrer dans la stratosphère une région d'inversion de température d'une grande amplitude. D'après les calculs de CABANNE pour un corps noir de 6000° *K*, la couche d'ozone absorberait 4/100 du rayonnement total du soleil au zénith. GOWAN calcule ainsi une température de 380° *K* (100° C) à 56 km. d'altitude, alors que DUCKERT ne trouve que 37°, en partant de la théorie de la propagation du son.[1]

Ces derniers calculs ont été admis pendant un certain temps en accord les uns avec les autres, car les ondes sonores à grande distance semblaient précisément réfléchies dans les hautes couches, du fait d'une augmentation importante de la température. Mais en ces derniers mois, des doutes sérieux ont été jetés sur le rôle de la température dans la propagation du son par delà la troposphère, et, il a même semblé, à certain physicien norvégien, que les formules de propagation allemandes devaient être définitivement classées au rebut de la géophysique. En effet, des expériences de laboratoire sur lesquelles je n'ose pas parler, puisqu'elles ne sont pas encore publiées, ont démontré que la transmission du son par les hautes couches atmosphériques peut entièrement s'expliquer par la différenciation de l'équation de vitesse et de la pression barométrique. Il doit y avoir réfraction à une altitude de quelques dizaines de kilomètres, quelle que soit la température qui y règne, le son diminuant de vitesse au fur et à mesure que l'air se raréfie.

D'autres constatations parlent en faveur d'une forte élévation de température dans la couche d'ozone, ainsi l'absence totale de condensations aqueuses entre 40 et 60 km. En effet, les nuages perlés de STÖRMER se dissolvent vers 30 à 35 km, puis ne réapparaissent que vers 70 à 80 km, où la température redescendrait rapidement.

Le problème de l'inversion thermique de la couche d'ozone ne sera probablement résolu que le jour où l'on aura perfectionné la technique des sondages aérologiques par les fusées. Mais nous sommes malheureusement encore loin de là.

* * *

Quittons maintenant la couche d'ozone pour passer de la pression barométrique de 1 millimètre à 1 millième de millimètre, ce

[1] PAUL DUCKERT: Messungen des Ozongehaltes über Lindenberg. Beitr. z. Phys. d. Freien Atm. XIV. Bd., Heft 4, p. 219. Leipzig, 1928.

qui revient à gravir d'un bond gigantesque l'étage de 50 kilomètres qui sépare l'inversion thermique de l'ozone des régions froides de la couche de KENNELLY-HEAVISIDE, à 100 kilomètres d'altitude.

Je ne puis pas m'étendre longuement sur l'ultrastratosphère, dont le rôle ne paraît pas être très important dans l'équilibre général de notre atmosphère. Cette région, où se meurent les derniers vestiges de goutelettes aqueuses et où les ions se reserrent, doit donc être traversée les yeux fermés.

C'est passer de l'Institut d'optique à l'Institut radiotechnique, des phénomènes à la fois vibratoires et thermiques, aux phénomènes essentiellement électroniques, avec un certain sentiment de gêne. Mais que faire! Dès que nous sommes à l'Institut radiotechnique. nous nous retrouvons beaucoup plus sûrs de nous-mêmes, car nous possédons maintenant trois procédés électriques pour sonder notre atmosphère dans les pressions inférieures au centième de millimètre de mercure.

La première des méthodes pour déterminer l'altitude de la couche de KENNELLY-HEAVISIDE et aussi sa teneur en ions est due au professeur APPLETON.[1] Elle consiste à enregistrer les interférences qui se produisent dans un poste récepteur du T. S. F. entre l'onde directe qui lui parvient d'un transmetteur et l'onde réfléchie par la dite couche, lorsqu'on fait varier la fréquence à l'émission. Cette méthode a fait l'objet de nombreuses recherches en Grande-Bretagne et elle a permis de mettre en évidence des discontinuités dans les basses régions de l'ionosphère.

La deuxième méthode, dite des échos, préconisée par BREIT et TUVE[2] aux Etats-Unis est plus simple que celle du professeur APPLETON. Elle consiste à oscillographier à la réception un signal très bref de l'ordre de 10 ou du 100 millième de seconde, qui arrive d'abord en onde directe, suivant le sol, puis en onde indirecte, par réflection. La différence des temps et la longueur de la base transmetteur-récepteur donne les éléments trigonométriques nécessaires pour déterminer l'altitude des couches ionisées. Cette méthode

---

[1] E. V. APPLETON: On some measurements of the equivalent height of the atmospheric ionised layer. Proceedings of the Royal Society, A. Vol. 126. Londres 1930.

[2] G. BREIT, M. A. TUVE, O. DAHL: Effective height of the KENNELLY-HEAVISIDE layer in dec. 1927 and jan. 1928. Proc. Inst. Radio. Eng. *16*, p. 236. N° 9. Washington, 1928.

très répandue a été utilisée dans une dizaine de pays, au courant de ces trois dernières années et elle a confirmé les résultats d'Appleton.

Enfin, la troisième méthode qui est beaucoup plus géophysique que les deux précédentes est le *„sondage par les parasites atmosphériques“*, qui a donné des résultats en parfait accord avec les procédés des interférences et des échos.

Pendant que le soleil se lève — respectivement se couche — la courbe des parasites atmosphériques présente presque tous les jours un aspect remarquable. Elle se rapproche graduellement de l'axe des abscisses, jusqu'au moment où le soleil pointe à l'horizon. Cette courbe descendante correspond donc à une graduelle diminution de la fréquence par minute des trains de parasites, sous l'influence des rayons rasants du soleil.

J'ai essayé d'expliquer ces phénomènes par une action photoélectrique des rayons ultraviolets sur les diverses couches atmosphériques que ces rayons rencontrent, lorsqu'ils descendent du zénith. C'est là, la base de la nouvelle méthode de sondage des hautes couches par les parasites qui a été expérimentée en Afrique,[1] aux Pyrénées,[2] dans les Alpes, dans le cercle polaire, à Tromsö et à l'Ile des Ours,[3] puis en Pologne.

En calculant la position des rayons du soleil levant en altitude, on constate presque tous les jours, qu'au moment où ils arrivent dans les couches situées entre 100 et 80 km., il se produit sur le diagramme de l'atmoradiographe — cet instrument qui enregistre les parasites — une sorte de cassure ou de maximum, suivi immédiatement de l'abaissement dont je viens de parler. Sur la courbe d'abaissement on trouve encore des discontinuités remarquables, ainsi au moment où le soleil se lève entre 60 et 30 km., c'est-à-dire dans la couche d'ozone et également à la limite de la troposphère.

Connaissant donc par le diagramme l'instant où se produisent ces discontinuités, on en déduit par une formule astronomique élémentaire l'altitude de la couche électrisée qui les a provoquées.

[1] Jean Lugeon: La nouvelle méthode de sondage électromagnétique vertical et quasi-horizontal. Arch. Sc. phys. et Nat. Vol. 11. Genève 1929. Voir aussi, id. vol. 12: Quelques résultats de la mission radio-météorologique suisse au Sahara en 1929.

[2] F. Link: Enregistrement de parasites. C. R. *t. 195,* p. 619. Paris 1932.

[3] Jean Lugeon: Notice préliminaire sur l'expédition nationale polonaise de l'Année Polaire 1932/33. Bull. Soc. Géophys. Varsovie, 1932.

La méthode de sondage par les parasites atmosphériques est susceptible d'applications aussi nombreuses qu'inédites pour l'exploration systématique de la troposphère. On peut dire que les hautes régions de notre atmosphère sont un miroir réfléchissant des phénomènes radioélectriques de la basse atmosphère. L'analyse de nombreuses années d'enregistrements des troubles électromagnétiques aidera à découvrir les liens entre l'ionosphère et les perturbations du temps.

On peut sonder en longitude et en latitude, en considérant la forme de la courbe atmoradiographique et la position du soleil par rapport à la terre, d'après le principe que la portée des parasites est plus grande la nuit que le jour. C'est ainsi que j'ai pu déterminer la position géographique de foyers orageux sur l'Océan et calculer la vitesse de déplacement de grandes perturbations solidaires des dits foyers entre l'Amérique et l'Europe, avec deux enregistreurs situés en Afrique et à Zurich, ainsi que dans d'autres cas à Varsovie, Tromsö et à l'Ile des Ours, dans le cercle polaire. Mais, je passe sur ces recherches captivantes, pour ne vous citer qu'un joli exemple de l'action photoélectrique du rayonnement ultraviolet du soleil sur l'ionisation aux hautes altitudes, laquelle se répercute sur la propagation des ondes hertziennes et par conséquent sur la forme de la courbe des parasites.

C'est le cas de l'éclipse de soleil du 31 août 1932, dont j'ai observé l'action électronique à grande distance dans ma récente expédition à l'Ile des Ours, à l'occasion de l'année polaire[1].

Quelle que soit la position géographique du récepteur de parasites, même s'il est situé en dehors de l'éclipse de soleil, le champ électromagnétique peut être influencé, si les ondes qu'il reçoit sont réfléchies par des couches entrant dans la totalité ou même dans la phase partielle de l'éclipse.

Considérons le diagramme de Jabłonna. Après le coucher, à 17 h. 21 min., et jusqu'à 19 h., il ne présente aucune anomalie. A ce moment-là, les rayons rasants sont déjà à 188 km. au zénith et les conditions locales de réception des parasites à longue portée sont requises. La courbe monte alors avec rapidité vers un maximum double qui encadre presque symétriquement le maximum de l'éclipse à 20 h. 3 min. Trois quarts d'heure après, elle retombe

[1] Jean Lugeon: L'éclipse de soleil du 31 août 1932 et le sondage par les parasites atmosphériques. C. R., t. 195, p. 817. Paris 1932.

à son point de départ. Tout porte à croire que ce maximum de parasites nocturnes est l'image même de la phase totale, à 6000 km. de distance. Car, d'après les cartes synoptiques américaines, la partie méridionale de la zone de totalité s'est précisément étendue sur d'intenses foyers de parasites, révélés au sol par des orages et réalisant ainsi toutes les conditions théoriques pour la propagation momentanée de parasites nocturnes à grande distance. Par ailleurs, le trajet Amérique-Europe favorisait encore cette propagation, puisqu'il était en partie couvert par l'ombre partielle de l'éclipse et même dans l'obscurité, du méridien de Greenwich à celui de Jabłonna, où le soleil se couchait dans les couches allant de 117 km. à 435 km. d'altitude.

D'après ces considérations l'influence de l'éclipse ne devait pas se faire sentir dans les régions où l'ionosphère était éclairée. En effet, les diagrammes du bassin polaire ne marquent que des parasites locaux diurnes à faible portée, dus au hasard des conjonctures météorologiques. Car, pas plus à Tromsö qu'à Björnöya, les conditions astronomiques n'étaient requises pour la réception des parasites lointains. Pendant toute la durée de l'éclipse les couches intéressées (*K-H* et autres) étaient en pleine lumière; à la totalité, les rayons rasants du soleil tangentaient à 57,7 km au zénith de Tromsö et à 14,5 km au zénith de Björnöya.

En outre, le chemin que devaient franchir les parasites du foyer américain était en majeure partie bien éclairé, défavorable ainsi à la propagation. Ces derniers phénomènes semblent donc être, par la négative, une confirmation de la méthode de sondage basée sur l'action photoélectrique de la radiation solaire sur l'ionisation des hautes couches atmosphériques.

Quelques mois après avoir publié cette théorie, j'ai constaté qu'elle se vérifiait par les enregistrements effectués en Grande Bretagne et aux Etats-Unis,[1] [2]. Ainsi, à Conway, la pointe encadrant le maximum de l'éclipse est tout aussi intense qu'à Jabłonna et la fréquence du champ électromagnétique subit une remarquable altération. Il en est de même de l'altitude des couches ionisées qui augmente d'abord au début de l'éclipse, conformément à la théorie

[1] Burdon, Boardman: Effects of solar eclipse on Audio Frequency atmospherics. Nature, january 21, 1933.

[2] Kenrick, Pickard: Field intensity during solar eclipse. Proc. Inst. Radio. Eng. Vol. 21. N° 4, april 1933.

du passage des anneaux crépusculaires, puis s'abaisse pendant la totalité, pour reprendre de l'altitude dans la phase finale. D'une manière universelle, l'image de l'éclipse que donnent les différents types d'enregistreurs électromagnétiques est similaire à la courbe de variation journalière du champ de transmission sur les grandes fréquences. C'est la meilleure preuve de l'action ionisante extrêmement rapide et puissante des rayons solaires dans les hautes couches de notre atmosphère. Pendant l'éclipse, les phénomènes d'inertie ioniques semblent donc considérablement atténués.

* * *

J'aimerais dire encore quelques mots sur la texture de l'ionosphère et des agents externes qui sont susceptibles d'en modifier la composition.

Il y a deux ans, à l'assemblée de l'Union radio-scientifique internationale à Copenhague, deux théories étaient en présence: celle de la continuité de l'ionisation, dans le sens des altitudes croissantes et celle de la discontinuité, impliquant une série de couches concentriques parfaitement séparées électriquement les unes des autres.

Il semble, aujourd'hui, que cette deuxième représentation soit la vraie, c'est-à-dire que l'ionisation croit lentement à partir du sol, puis elle présente une variation rapide avec un maximum de 10^5 électrons par centimètre cube à 100 kilomètres, suivi à son tour d'une nouvelle variation vers 250 km, avec 3×10^5 électrons, et, enfin, à 350 km, la densité de 8×10^5 serait la plus probable. De nombreux sondages effectués dans deux continents s'accordent sur ces chiffres.

Voici, grosso-modo, ce qui en est pour l'ionisation qui est régie, bien entendu, comme la plupart des phénomènes géophysiques en connexion avec la radiation solaire, par la loi de la latitude héliographique.

Il est avéré, également, que les variations du magnétisme trouvent leur répercussion dans les couches ionisées.[1] Ainsi, on a observé qu'au moment de forts orages magnétiques, la densité ionique augmente considérablement. Je ne préciserai pas ce processus fort complexe, car nous nous trouvons ici en présence de plusieurs

[1] Paul Labat: La propagation des ondes électromagnétiques, in-8°, 445 p. Gauthier-Villars, Paris 1932.

théories, d'ailleurs en contradiction, sur les liens entre le magnétisme terrestre, les courants telluriques et l'activité solaire. Constater le parallélisme des variations de ces éléments fondamentaux ne veut pas dire les expliquer et surtout ne veut pas dire qu'ils soient nécessairement liés d'effet à cause ou inversément. Car, le milieu que traverse la radiation est lui-même si hétérogène qu'il est susceptible de jouer un rôle primordial dans la production même des variations apparemment corrélatives. Mais je n'insiste pas.

Quel est le bilan thermique de l'ionosphère? Voici aussi une de ces questions difficiles à résoudre. Je m'associe entièrement aux vues de Végard à ce sujet, qui, comme je vous le disais, fixe à — 35° la température des régions parcourues journellement par les électrons luminescents, d'après ses investigations fort ingénieuses sur le spectre de la raie verte des aurores.

Ici, je devrais écrire un livre volumineux pour résumer les innombrables travaux sur la propagation des ondes hertziennes, qui est en rapport intime avec les fluctuations des couches *E* et *F*. Deux points essentiels sont à retenir. La propagation des ondes longues, définies par quelques centaines de cycles est assujettie à la couche inférieure, tandis que la propagation des ondes courtes, à la fréquence de plusieurs milliers de cycles est réglée par les conditions de conductibilité de la ou des couches supérieures de l'ionosphère. Je m'abstiens de parler, évidemment, des ondes ultra-courtes de l'ordre du décimètre, que l'ionosphère ne réfracte pas.

L'effet crépusculaire de propagation affecte d'autant plus les ondes, que leur fréquence est élevée, ce qui permet, connaissant l'altitude au voisinage du zénith des rayons rasants du soleil, de calculer l'instant du passage de telle ou de telle autre longueur d'onde d'une région éclairée à une région obscure ou inversément. Ainsi, dès que, à minuit vrai, les rayons rasants dépassent l'altitude de la couche *E*, la plupart des fréquences passent d'un continent à l'autre, puis l'intensité de réception décroit très rapidement pour s'annuler quand la couche en question rentre dans la lumière. A part celà, vous constaterez encore de nombreuses anomalies de transmission qui semblent régies par des facteurs ultra-atmosphériques, indépendants de la position du soleil.

En rentrant de l'assemblée de l'Union géodésique et géophysique de Stockholm, en 1930, des savants français furent éblouis en pleine nuit, à Tromsö, par un de ces gigantesques feux d'arti-

fice du ciel polaire. L'un d'eux eut la géniale idée de faire une enquête sur la propagation des ondes courtes de plusieurs postes du trafic intercontinental, ce jour-là. Quelle ne fut pas sa satisfaction de constater que l'aurore, qui s'était étendue jusqu'au dessous du 60e ° de latitude nord, avait opposé un véritable barrage à la transmission des ondes courtes entre l'Europe septentrionale et l'Amérique du Nord. Tous les récepteurs dans les deux directions se turent pendant la durée de l'éclat sidéral, alors que la transmission Berlin—Buenos-Aires, qui se trouvait en dehors du rayon d'action de l'aurore, n'était guère affectée par la perturbation électronique. Le bombardement cathodique intense que trahissaient les électrons luminescents de l'aurore avait donc modifié dans toute sa profondeur la couche qui portait les messages hertziens dans les latitudes septentrionales.

Rendu attentif par ces faits, j'ai observé dans le cercle polaire, pendant plusieurs semaines, des modifications analogues, au moment où le ciel de Björnöya s'enflammait majestueusement. Même sous d'épais nuages, par 74 ° de latitude nord, je pouvais déceler avec certitude la présence d'aurores invisibles, par l'évanouissement caractéristique des messages transmis sur certaines fréquences.

Tout ceci, pour vous dire que le soleil, cette étoile du genre des céphéides, règle de nuit comme de jour la vie électrique des atomes qui remplissent notre atmosphère supérieure.

Quand l'obscurité enveloppe d'une paix apparente les choses d'ici-bas, l'ultra-ionosphère, presque toujours éclairée sous nos latitudes, reste le champ de bataille que les électrons bombardent sans répit. La pluie éternelle de ces particules projetées dans l'espace inter-sidéral par l'astre du jour, change de densité d'un instant à l'autre. Il semble qu'il n'y ait pas de relation entre la constante solaire, les rayons ultraviolets et l'activité undécennale des taches, et, c'est pour cela, que les études de corrélation dont je vous parlais ci-devant sont fort complexes. L'activité solaire est représentée par une courbe beaucoup plus sincère, lorsqu'on considère les facules, qui sont la vraie source des phénomènes d'ionisation [1] et non pas les taches, comme on l'a fait pendant trop longtemps. Il est fort probable que le développement faculaire est en retard de

[1] Charles Maurain: Sur l'intervalle de temps entre les phénomènes solaires et les perturbations magnétiques terrestres. *C. R* t. 196, p. 1182, 24 avril 1933.

quelques dizaines d'heures sur le développement des taches, ce qui confirmerait la théorie du décalage de certaines anomalies radio-électriques et même du magnétisme terrestre et infirmerait ainsi définitivement la théorie de l'inertie.

* * *

Je dois vous dire aussi quelques mots de ces rayons cosmiques, dont on parle tant.

D'aucuns écrivent qu'ils ne sont pas d'origine cosmique. Ainsi Dauvillier ne s'explique pas, en étudiant la théorie astrophysique de la radiation, comment des rayons aussi pénétrants pourraient s'échapper des centres ou même de la surface des astres, par suite de l'atmosphère qui les enveloppe. Les pseudo-rayons cosmiques, tels les rayons *Röntgen* dit-il, seraient dans notre basse atmosphère le produit de l'impact des électrons solaires sur les gaz raréfiés. La stratosphère tout entière devient ainsi la source de ces rayons de Hess, d'où il résulte que leur action directe sur l'ionosphère et par conséquent sur la transmission des ondes de Hertz est fort improbable. C'est là bien ce que paraît montrer l'expérience: il n'y a aucune ressemblance entre les variations de l'ionisation en vase clos et les variations de l'ionisation de l'ionosphère.

En résumé, les causes d'ionisation de la haute atmosphère sont de deux ordres: corpusculaire et ondulatoire, mais d'origine essentiellement solaire car les radiations émanant des astres sont, en vérité, beaucoup trop faibles pour influencer notre planète.

La diffusion et l'entraînement des ions par le champ magnétique terrestre, selon la théorie de Carl Störmer, uniformise les taux d'ionisation ainsi que la concentration moyenne. L'ionisation par le rayonnement corpusculaire solaire est permanente, alors que celle due aux rayons ondulatoires cesse, dans la partie obscure du globe.

La lune, en sa qualité d'astre éteint, a acquis une forte charge négative par impact direct et par effet photoélectrique. Elle va donc jouer le rôle d'une grille de lampe de T. S. F., s'interposant entre le soleil et les couches ionisées. Toutefois, son effet de freinage ou d'accélération sur la production d'ions est reconnue très faible, d'autant plus qu'il se pourrait que ce mécanisme ne soit pas électrostatique, mais essentiellement magnétique, puisque

notre satellite semble composé dans sa majeure partie de corps ferromagnétiques.

En analysant quantitativement le bombardement issu de la chromosphère, on peut s'assurer que les hautes régions atmosphériques sont surtout électrisées par les ions lents qui pénètrent d'autant plus profondément qu'ils sont plus lourds, alors que les régions inférieures sont surtout l'apanage des ultra-radiations extrêmement courtes qui agissent principalement par effet Compton.

Quant à la réaction ionique du sol sur l'atmosphère, elle est certainement très faible, sinon nulle dans la stratosphère et à plus forte raison dans l'ionosphère.

Vous allez me demander pour finir quelle est la communauté physique de l'ionosphère et de la basse atmosphère?

Il est trop tôt pour vous répondre. Certes, on pourra à bref délai chercher les corrélations possibles entre les pulsations de l'ionosphère, la densité de l'ozone et de la pression barométrique mesurée au sol, car les observations en sont faites, mais je reste fort sceptique quant aux résultats de telles investigations.[1] Pour moi, l'atmosphère tout entière est aussi hétérogène que le lit turbulent des torrents de nos Alpes. Il y a des tourbillons dextrorsum et des tourbillons sinistrorsum, qui vivent sans aucune solidarité entre eux, tout en obéissant à la loi de la gravité. Il en est ainsi de l'atmosphère et de l'ionosphère qui semblent d'autant plus séparés l'une de l'autre, que la première de ces masses gazeuses appartient essentiellement au domaine de la thermodynamique alors que sur la seconde règnent les lois de l'électricité.

Je termine cet exposé avec un sentiment d'inquiétude, puisqu'il est bien imparfait. Je n'ai pu qu'effleurer un sujet d'une envergure colossale qui va préoccuper des générations. Nous sommes au début d'une époque météorologique nouvelle qui peut nous réserver des surprises agréables, si les pouvoirs publics comprennent qu'il est en définitive très avantageux pour l'Etat de fournir à la science des moyens étendus.

---

[1] R. C. Colwell: Cyclones, anticyclones, and the Kennelly-Heariside layer, Proc. Inst. Radio Eng. Vol. 21. No. 5. May 1933.