Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles

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

Band: 12 (1930)

Artikel: Quelques résultats de la mission radio-météorologique suisse au Sahara en 1929

Autor: Lugeon, Jean

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-741245

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: 16.12.2025

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

QUELQUES RÉSULTATS

DE LA

MISSION RADIO-MÉTÉOROLOGIQUE SUISSE[1]

AU SAHARA EN 1929

PAR

Jean LUGEON

(Avec 5 fig.)

Pour faire ressortir l'intérêt de la méthode de sondage par les parasites atmosphériques que j'ai proposée l'année dernière dans une série de Notes aux *Comptes rendus* [2], il est nécessaire de procéder à des enregistrements simultanés avec des appareils identiques placés à plusieurs centaines ou milliers de kilomètres les uns des autres.

Grâce à l'appui bienveillant de l'Institut central météorologique de Suisse et de l'Office national météorologique de France et avec l'aimable collaboration de MM. Erico Nicola, de Lausanne, et Hans Waldmann, de Zurich, il me fut possible d'enregistrer simultanément les parasites atmosphériques dans d'excellentes conditions à l'Oasis d'El Goléa, au Sahara (Lat. N.

[1] Communication présentée à la session du 12-13 septembre 1930 de la Société suisse de Géophysique, Météorologie et Astronomie, à St-Gall.

[2] Jean LUGEON, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. 188, 1929, p. 1114 et 1690 et t. 189, 1929, p. 363, Paris. Voir aussi: La nouvelle méthode de sondage électromagnétique vertical et quasi horizontal de l'atmosphère, *Archives des Sc. phys. et nat.*, sept.-oct. 1929, p. 239 à 259, Genève.

30° 34′, Long. E. Paris 0° 33′) et à Zurich, du 23 octobre au 13 novembre 1929. Les deux appareils utilisés, des « atmoradiographes » de mon système, étaient semblables en tous points. C'est probablement la première fois que l'on réalisait pendant une aussi longue durée des enregistrements de parasites à plus de 2000 km de distance entre l'Europe et l'Afrique.

L'appareil de Zurich qui fonctionnait depuis près de trois ans se comporta normalement. A El Goléa je pus laisser travailler l'atmoradiographe sans interruption à 500 m du poste T.S.F. à étincelle musicale de 2kw. antenne, grâce à d'excellents filtres étudiés préalablement. Toutefois, pour éviter une influence occasionnelle, le Génie m'autorisa à supprimer les liaisons d'El Goléa entre 4 et 7 h. du matin, au moment du passage des anneaux crépusculaires. L'émetteur le plus rapproché se trouvait ainsi à quelques centaines de kilomètres de distance.

Portée des parasites atmosphériques.

Pendant la durée de la mission, un enregistreur Bureau fonctionnait au Fort de St-Cyr, près de Paris, et mon éminent collègue de l'O.N.M., M. le Capitaine Bureau, me communiqua le résumé des diagrammes, ce qui fut d'une grande utilité pour les comparaisons suivantes.

Ainsi que je l'ai relevé dans mon travail précédent (*loc. cit.* 1), pour les 2000 heures d'enregistrements simultanés de Paris et Zurich en 1928 et 1929, le 30 % des parasites est d'origine différente. Le 70 % du temps, les courbes sont presqu'identiques, ce qui signifie que la portée dépasse au moins la moitié de la distance Paris-Zurich, soit 250 km. Entre Lausanne et Zurich, les désaccords ne sont que de 10 %, c'est-à-dire que la portée est d'au moins 86 km dans le 90 % des jours, pour les mois de mai à septembre 1929.

Comme il fallait s'y attendre, les parasites sont, en automne, en beaucoup plus grand nombre au Sahara qu'en Europe centrale, ce que montrent les diagrammes à première vue. Car l'atmoradiographe, comme l'appareil Bureau, intègrent l'ensemble des perturbations ou toute l'énergie captée par l'antenne.

Les parasites tropicaux et équatoriaux qui atteignent le Sahara forment un fond sur lequel se superposent les parasites locaux à faible portée et ceux d'origine lointaine. J'ai montré ailleurs comment on pouvait séparer ces décharges les unes des autres, par la seule analyse des formes générales des courbes et de l'épaisseur du trait d'enregistrement.

Il ressort de cet examen minutieux que pendant une centaine d'heures, sur les cinq cents à disposition, certains foyers d'émission influençaient à la fois les trois stations. Pendant 30 heures environ, les trois diagrammes sont même rigoureusement superposables. Ces faits démontrent maintenant d'une manière irréfutable qu'il y a des parasites dont la portée

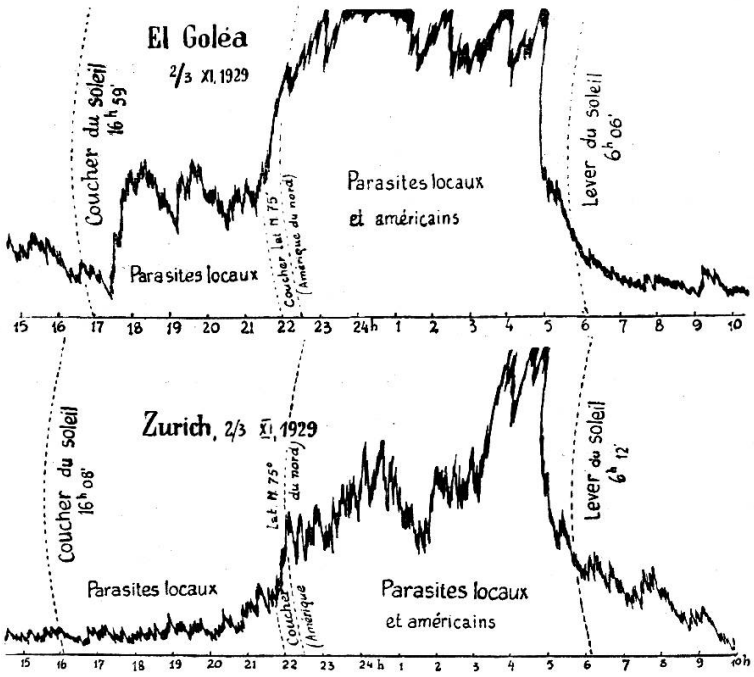

Fig. 1.

dépasse la demi-distance El Goléa-Zurich, soit environ 1000 km, à supposer que le foyer soit situé exactement entre ces stations. Mais dans la plupart des cas de simultanéité, le radiogoniomètre d'El Goléa indiquait une provenance N-W ou W, d'où on conclut que la portée dépassait la distance entre nos postes, soit 2000 km. En appliquant les principes du sondage en latitude et en longitude, par le passage des anneaux crépusculaires sur les grands

foyers des fronts froids, j'arrive à la conviction que ces ondes hertziennes naturelles peuvent atteindre des portées dépassant 8000 km, pour une sensibilité maximum des enregistreurs.

En effet, le 3 novembre, on remarque qu'à partir de 22 h., les trois diagrammes de Paris, Zurich et El Goléa sont en coïncidence jusqu'au lever du soleil. Les courbes s'élèvent simultanément à l'instant même où le soleil se couche sur le 75° de longitude à la latitude d'environ 40° (fig. 1). Or, en considérant les cartes météorologiques du « Weather Bureau » de Washington, on voit, que du 1er au 4 novembre une ligne de discontinuité à caractère froid d'une remarquable netteté, s'étendait stationnaire du Nord au Sud des Etats-Unis, en passant par New-York et la Floride. Le 4, d'ailleurs, ce front donna naissance à une forte dépression. Le 3, une étroite bande de précipitations large de 500 et longue de 3000 km l'accusait, d'autant plus qu'une trentaine de stations signalaient des orages intenses sur toute sa longueur. Ce jour là, aucun autre front orageux important n'était visible sur les cartes atlantico-européennes.

Dès l'arrivée des premiers trains de parasites émanant de ce foyer lointain, le radiogoniomètre d'El Goléa donnait effectivement à 22 h. un maximum très net des « grinders » orageux, dans la direction de l'ouest, ce qui semble donc bien confirmer mon assertion précédente: les orages des fronts froids sont enregistrables à plus de 8000 km de distance. Cette propriété permet de déterminer la position géographique de certaines discontinuités et leur vitesse moyenne en 24 heures avec la méthode que j'ai proposée, *C. R.*, t. 188, p. 1690, Paris, 1929.

Le Sahara fourmille de phénomènes électriques encore peu connus. C'est ainsi que j'ai pu déceler à l'aide des diagrammes de l'atmoradiographe, d'un oscillateur cathodique et d'un cadre radiogoniométrique, des « vents de sable » générateurs de parasites à quelques centaines de kilomètres de distance [1]. Ces parasites qui ressemblent à s'y méprendre au bruit de la mitrailleuse ne traversent pas la Méditerranée, Paris et Zurich

[1] Jean Lugeon, Le repérage radio-électrique des tempêtes de sable du Sahara à grande distance, *C. R.*, t. 191, p. 61, Paris, 1930.

étant restés insensibles. Leur portée n'excède probablement pas 800 à 1000 km. D'autre part, d'après mes recherches antérieures dans les Alpes (*C. R.*, t. 180, p. 594, Paris, 1925), où j'ai relevé des parasites de faible portée variant en une certaine mesure avec l'altitude et le gradient vertical de température, on est autorisé, me semble-t-il, à énoncer aujourd'hui la règle suivante:

Pour 100 % de parasites enregistrés en une année, le 20 % sont de provenance lointaine, quelques milliers de kilomètres, le 70 % ont une portée de 100 à 1000 km et le 10 %, enfin, sont des parasites locaux, dont la portée se tient au-dessous de 100 km et atteint parfois quelques mètres seulement.

Cette classification ne laisserait donc pas de place aux parasites cosmiques. Je dois avouer qu'après plus de quinze années de recherches dans ce domaine de l'électricité atmosphérique, je ne puis admettre l'existence de perturbations de cette nature dans les récepteurs de T.S.F. Sans doute, des phénomènes électriques puissants prennent naissance dans l'au-delà terrestre et sont en rapport étroit avec le magnétisme, mais je me refuse à croire qu'ils influent les détecteurs des appareils que j'ai utilisés sur toute l'échelle des ondes hertziennes de 13 m à 30.000 m.

Les parasites atmosphériques et les phénomènes météorologiques.

Cette mission aura contribué aussi à montrer que les lois d'apparition et de disparition au passage des fronts froids et chauds, décelées pour la première fois par M. Bureau en France, se retrouvent au Sahara, quoiqu'avec quelques altérations provenant de l'intensité des vents. Lorsqu'un secteur chaud, pur et calme traverse les régions désertiques, la disparition est complète, mais s'il y a turbulence et siroco ou « chergui », les parasites prennent une toute autre allure; ce sont ceux des vents d'accélération de M. Petitjean [1] et ceux du cortège des

[1] L. Petitjean, La dépression saharienne, *La Météorologie*, Paris, avril 1928.

discontinuités sahariennes, extrêmement compliquées, tant au point de vue synoptique qu'électrique. Par chergui, en particulier, le volume des parasites locaux peut devenir considérable.

Un front froid, même dénué de précipitations, amène une augmentation de parasites à quelques centaines de kilomètres avant son arrivée sur l'oasis.

Une atmosphère anticyclonique calme reposant sur le Grand Désert est dépourvue de parasites locaux, tout au moins pendant la journée, et se prête par conséquent à une parfaite réception des parasites lointains. Cela avantage les diagrammes et permet une meilleure précision dans le calcul de l'altitude des hautes couches par la méthode préconisée.

Afin de chercher à déceler les corrélations éventuelles entre l'état électrique général de l'air et les parasites locaux naissant dans les basses couches, nous avons fait de nombreuses mesures de gros et de petits ions, de conductibilité et de champ électrique. Aucune relation précise n'a pu être décelée. Je suis étonné, néanmoins, de constater que pendant 60 heures d'observation par des vents intenses du secteur E-N, le gradient de potentiel n'a pas dépassé 100 $^{v}/_{m}$ et la teneur de l'air en petits ions resta au-dessous des valeurs moyennes d'Europe, avec absence complète de parasites locaux. Par contre, comme en Suisse, dès que le vent tombe, les « parasites de rayonnement » et de « convection » couvrent rapidement ceux d'origine lointaine. Les phénomènes de pollution, de turbulence et d'épuration électromagnétique sont donc aussi l'apanage des régions désertiques. Dans une autre note j'entrerai dans le détail de ces processus.

Le sondage vertical.

Le but principal de la mission était de reconnaître si les particularités des diagrammes, au moment du passage des anneaux crépusculaires à l'aurore, offraient les mêmes possibilités de calcul des hautes couches électrisées, qu'en Europe centrale. Sur ce point, j'ai obtenu également pleine satisfaction.

Les principales phases de la variation journalière enregistrées pendant plusieurs années à Zurich se retrouvent même beaucoup

plus accentuées au Sahara. L'apparition des « parasites nocturnes » [1] y est très prononcée et la disparition au lever jusqu'à dix fois plus rapide qu'en Europe. La plupart des diagrammes d'El Goléa permettent également le sondage au coucher du soleil, alors qu'à Zurich je n'ai pu appliquer le calcul qu'au lever.

Je pense donc que les hypothèses sur les phénomènes photoélectriques, qui sont à la base de la méthode, restent les mêmes sous les basses latitudes. On ne saurait d'ailleurs imaginer un autre processus: au moment où les rayons rasants du soleil quittent la terre en traversant successivement les diverses couches électrisées, au coucher, ils libèrent des ions par l'obscurité qui les suit. Au moment, au contraire, où ils descendent vers la terre, au lever, ils produisent une ionisation supplémentaire dans chacune des couches qu'ils traversent. Ce mécanisme a sa répercussion sur le champ développé par les parasites, qui augmente rapidement au coucher et baisse au lever du soleil en s'inscrivant sur le diagramme, comme l'image du crépuscule avec toutes ses lueurs électromagnétiques.

A propos de ces phénomènes, je viens d'avoir une intéressante discussion avec les savants spécialistes de l'aurore polaire, à l'inauguration du nouvel Observatoire géophysique de Tromsö. Le Professeur Krogness, de Bergen, pense que l'hypothèse d'un effet photoélectrique sur les ions de la stratosphère est à rejeter. Il me disait que la production de cet effet nécessitait dans le spectre de l'ultra-violet des longueurs d'onde de l'ordre de 70 $\mu\mu$ qui certainement n'atteignent pas un niveau inférieur à 100 km. Mais la couche d'ozone à 45 km n'est-elle pas produite par des rayons de 180 $\mu\mu$ qui ont leur répercussion indirecte sur le champ électromagnétique au sol ? Je crois pourtant l'avoir constaté à maintes reprises sur mes diagrammes. Je sais aussi que le Professeur Charles Fabry, de l'Institut, dans ses magistrales études, pense que la couche qu'il a découverte avec le

[1] Cette dénomination peut prêter à confusion. Il n'existe pas nécessairement des parasites diurnes et des parasites nocturnes, mais la portée des parasites étant beaucoup plus grande de nuit que de jour, il est clair que d'une manière générale les récepteurs de T.S.F. en recevront davantage dans la région obscure que dans la région claire de la Terre.

Professeur Buisson, ne joue pas de rôle dans la propagation des ondes hertziennes. M. Krogness voit donc dans ces altérations successives des ondes hertziennes qui descendent réfléchies du zénith en même temps que les rayons du soleil à l'aurore, non pas une ionisation successive des couches par effet photoélectrique, mais une ionisation par bombardement électronique. Et là, nous pourrions tomber d'accord: effet photoélectrique dans les très hautes couches, dans ce que j'ai appelé l'ionosphère, « effet quantique » dans les basses couches, dans la stratosphère et la troposphère. Cette manière de voir permettrait d'expliquer plus d'une anomalie dans la formation des « anneaux crépusculaires » sur le diagramme, en particulier ce retard de quatre minutes que M. Krogness a calculé. Je n'insiste pas sur les conséquences physiques et théoriques que l'on pourrait tirer de cette interprétation, en pensant seulement à l'application de l'œuvre admirable de M. de Broglie où les deux théories de la propagation de la lumière s'accordent en parfaite harmonie.

Quel que soit le processus impliqué, les résultats numériques sur l'altitude des couches ne subiront pas de grande modification, si l'on écarte d'emblée les diagrammes altérés par des réfractions ou des retards. C'est ainsi qu'en dépouillant à nouveau les trois ans d'enregistrements continus dont je dispose, j'évalue à 30 % au moins, les anneaux crépusculaires utilisables.

Si les altitudes des hautes couches sont aux mêmes *temps vrais* comparables entre plusieurs enregistreurs disséminés dans un hémisphère, il doit en découler une première vérification numérique de la méthode de sondage. Cela semble précisément être le cas pour les sondages d'El Goléa et de Zurich, ainsi que le montre le tableau (premier, page suivante).

Il est intéressant de noter que l'altitude de la couche de Kennelly-Heaviside a toujours été plus élevée à El Goléa qu'à Zurich, excepté le 8 novembre, où la différence est d'ailleurs très faible, de 1 %, et peut être due à une erreur chronographique.

Les chiffres du tableau s'accordent parfaitement avec les théories sur la variation de hauteur des couches atmosphériques qui sont inclinées de l'équateur vers les pôles. Remarquons encore ce fait capital que les balancements de la couche, la *marée de la couche de Kennelly-Heaviside* sont synchromes entre

Zurich et El Goléa. Les amplitudes sont jour pour jour proportionnellement les mêmes. Voici, me semble-t-il, une bonne preuve en faveur de cette nouvelle méthode de sondage par les parasites.

Altitude de la couche ionisée de Kennelly-Heaviside calculée d'après les enregistrements des parasites à Zurich et à El Goléa.
Octobre-novembre 1929.

Date	Zurich ($\varphi = 47° 23'$)		El Goléa ($\varphi = 30° 34'$)	
	Instant du lever du soleil T.M.G.	Altitude en kilomètres	Instant du lever du soleil T.M.G.	Altitude en kilomètres
24–X	5 h. 57	124,3	5 h. 57	136,2
25–X	5 h. 58	105,8	5 h. 58	—
26–X	5 h. 59	88,5	5 h. 59	91,6
28–X	6 h. 03	94,5	6 h. 01	125,3
30–X	6 h. 06	—	6 h. 03	125,3
31–X	6 h. 07	—	6 h. 04	124,8
2–XI	6 h. 11	83,6	6 h. 05	110,1
3–XI	6 h. 12	93,5	6 h. 06	128,6
4–XI	6 h. 13	—	6 h. 07	93,2
8–XI	6 h. 19	93,2	6 h. 10	92,0
9–XI	6 h. 20	74,6	6 h. 10	95,0
10–XI	6 h. 22	99,3	6 h. 11	115,5
12–XI	6 h. 26	125,8	6 h. 13	139,8
Altitude moyenne à Zurich: 98,2 km			Altitude moyenne à El Goléa: 114,7 km	

En prenant les valeurs moyennes des crochets de la courbe d'enregistrement des parasites que j'estime être dus au passage des rayons solaires au travers des couches d'inversion de l'ozone et de la tropopose, la loi générale d'inclinaison vers les pôles est également respectée.

Altitude moyenne en kilomètres des couches de Kennelly-Heaviside, de la couche d'ozone et de la tropopose au-dessus de Zurich et d'El Goléa et pente de ces couches dans le sens équateur-pôle nord.

	Zurich	El Goléa	Pente en millièmes
Kennelly-Heaviside.	98,2	114,7	8/1000
Ozone	48,9	51,2	1/1000
Tropopose.	11,1	15,5	2/1000

Les chiffres de la tropopose s'harmonisent bien avec ceux qu'a déterminés sir Napier Shaw, en calculant la variation de l'entropie dans une section de l'atmosphère faite du nord au sud.

En tenant compte de l'inclinaison de la couche de Kennelly-Heaviside et des dimensions du terroïde, j'ai établi la formule suivante pour calculer la hauteur de cette couche, H, en kilomètres au-dessus du sol, en fonction de la latitude φ:

$$H = 129{,}782 - 58{,}316 \sin^2 \varphi \ .$$

Cette formule correspond aux altitudes moyennes de 114,7 km à El Goléa et 98,2 km à Zurich. Elle doit être applicable aux deux hémisphères, au moins entre les équinoxes austraux et boréaux, de l'automne au printemps. L'altitude moyenne de la couche serait ainsi de 129,8 km à l'équateur et de 71,5 km aux pôles, au lever du Soleil.

Remarques techniques: Le choix des points caractéristiques de la courbe d'enregistrement, auxquels j'applique les équations astronomiques [1] donnant l'altitude, est assez délicat. En effet,

[1] Je rappelle ces équations très simples:

$$H = R\left(\frac{1}{\cos U} - 1\right) ,$$

où H est la hauteur de la couche au-dessus de la terre, R le rayon de la Terre, U l'angle de dépression des rayons solaires, soit l'angle avec l'horizon déterminé par la relation:

$$-\sin U = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (t_0 + t) \ ,$$

où φ = latitude, δ = déclinaison du soleil, t_0 = angle horaire du soleil à son lever, t = temps donné par le diagramme, soit le nombre

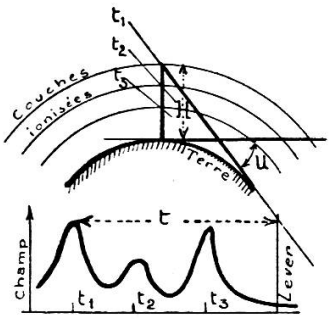

Fig. 2.

de minutes écoulées entre l'ordonnée d'un des points considérés de la courbe d'enregistrement et l'ordonnée du lever du soleil, fig. 2.

à part les anomalies locales qui affectent les derniers maxima de la courbe d'enregistrement, avant le lever du soleil, et que j'ai signalées dans un travail antérieur, les « anneaux crépusculaires » d'El Goléa et de Zurich peuvent être troublés séparément ou simultanément selon le nombre de foyers de parasites, leur position géographique et leur portée.

Dans les calculs, je n'envisage que les ondes réfléchies, descendant sensiblement du zénith. Or, pour que ce cas soit réalisé, il faut précisément que le foyer soit situé à une très grande distance. En outre, l'antenne collectrice ne doit pas être influencée par des parasites locaux ou des parasites dont la portée est inférieure à quelques centaines de kilomètres, puisque ceux-ci arrivent au récepteur sans être réfléchis par la couche de Kennelly-Heaviside. On imagine ainsi aisément quelle situation viendra troubler le sondage.

Il n'est pas nécessairement exclu que la détermination de l'altitude des hautes couches ne puisse se faire par des émissions très rapprochées, mais ce sera alors avec un autre schéma géométrique que celui proposé.

Dans les expériences dont je parle, les courbes d'enregistrement au passage des anneaux crépusculaires sont déformées et rendues inutilisables dans plusieurs cas bien caractéristiques.

Par exemple, lorsqu'un foyer orageux intense est situé sur la Méditerranée, à mi-chemin entre El Goléa et Zurich. La distance de 1000 km dans chaque sens est insuffisante pour les ondes de 5000 m captées; celles-ci arrivent pour la plupart tangentiellement, sans être réfléchies. Les deux diagrammes sont troublés (fig. 3, p. suivante). Ou bien dans le cas d'un foyer intense situé sur l'Amérique du Nord et des perturbations météorologiques dans le Sahara avec des parasites ne franchissant pas la Méditerranée. L'anneau de Zurich sera parfait, celui d'El Goléa, par contre, sera rendu inutilisable par la superposition des parasites locaux à courte portée. Dans le cas inverse, par exemple si des orages se présentent sur l'Allemagne, Zurich est mauvais, alors qu'El Goléa, trop loin pour être atteint directement par ces déflagrations, reçoit un beau diagramme.

L'examen simultané des « anneaux crépusculaires » de plusieurs enregistreurs situés à quelques milliers de kilomètres les

uns des autres, permet donc de faire la diagnose de l'activité électrique des situations météorologiques. Et comme ces phénomènes sont en rapport étroit avec la synoptique, on en conçoit l'importance pour la prévision du temps. Il est facile aussi d'indiquer un certain nombre de règles se rapportant à

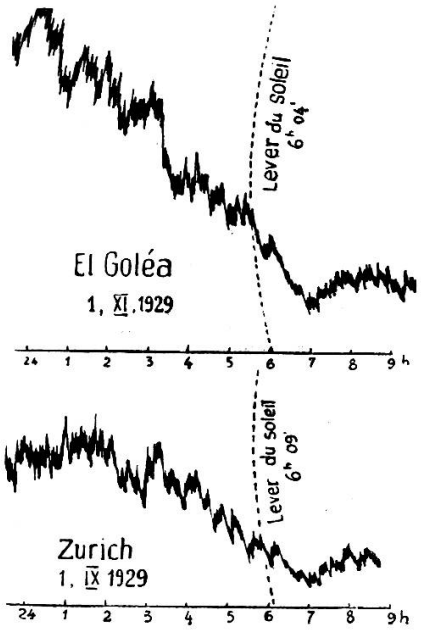

Fig. 3.

ces relations. Anneau crépusculaire typique, conforme au schéma théorique: perturbation électrique lointaine, à plusieurs milliers de kilomètres. Anneau crépusculaire sans maxima ou sans points d'inflexions caractéristiques: perturbations proches et variation rapide des éléments météorologiques. Je n'insiste d'ailleurs pas, pour éviter de tomber dans l'empirisme.

Le sondage en longitude et en latitude.

Par le cas du 3 novembre décrit ci-dessus, j'ai montré que les diagrammes d'El Goléa se prêtaient aussi bien que ceux de Zurich, à la détermination de la position géographique des centres de perturbations rayonnant des parasites. Je dois ajouter ici que, dans son ensemble, la théorie émise s'est vérifiée

par de nombreux repérages radiogoniométriques sur plusieurs longueurs d'onde. Il est à noter, toutefois, que dans la majeure partie des cas, on a eu affaire à des perturbations rapprochées prédominant sur la Méditerranée, ce qui ne fut pas favorable pour le sondage à très grande distance.

Le sondage par les ondes courtes.

En comparant les diagrammes des « anneaux crépusculaires » sur ondes courtes (29 m) et sur ondes longues (10.000 m) obtenus simultanément pendant quelques mois à Zurich, j'avais remarqué que le décalage entre les derniers maxima précédent le lever du soleil, permettait de calculer l'angle de réflexion des ondes courtes par rapport au zénith. Pour ce calcul j'admettais que ces ondes de 29 m sont réfléchies par la même couche de Kennelly-Heaviside que les ondes de 10.000 m qui descendent sensiblement du zénith. Il en résultait qu'une fois les constantes de réfraction de la haute atmosphère connues, on pouvait non seulement déterminer la distance du foyer d'émission, à supposer que ce fût le même pour les deux longueurs d'onde, mais également sa position géographique.

Par un raisonnement inverse, les anomalies des enregistrements simultanés sur ondes courtes et ondes longues premettront de sonder les hautes couches, à la condition que la position des émetteurs par rapport au récepteur soit déterminée.

En effet, à l'instant même où les rayons rasants du soleil, en d'autres termes l'ombre de la terre qui balaie tout l'espace, entrent en contact avec les régions de la couche de réflexion où les ondes courtes incidentes sont successivement renvoyées vers la terre, on doit remarquer une certaine variation du champ à la réception. *A priori* on retrouvera sur le diagramme d'enregistrement de l'onde courte autant d'anomalies que de points de réflexion, lorsque l'ombre de la terre suit la même route que l'onde (fig. 4, p. suivante).

Par exemple, pour une onde de 56 m qui décrit 12 zig-zags entre la terre et la couche de Kennelly en parcourant le trajet

Paris-El Goléa, il devrait se produire 12 anomalies principales à la réception à El Goléa.

Si cette hypothèse se vérifie, les hauteurs de la couche de Kennelly obtenues en chacun des points de réflexion de l'onde courte, doivent être les mêmes que celles que j'ai déterminées au-dessus d'El Goléa et de Paris [1], avec ma méthode de sondage

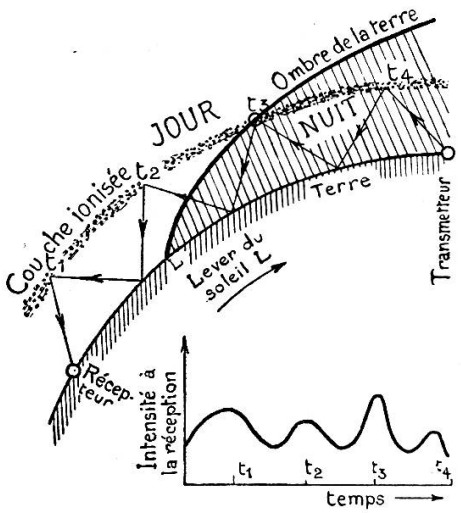

Fig. 4.

par les parasites. Si ce n'est pas le cas, c'est qu'il existe d'autres couches réfléchissant les ondes courtes. La hauteur de celles-ci sera donc déterminée par le même procédé: à l'intersection de l'ombre de la terre avec une zone de réflexion, on doit noter une anomalie dans l'intensité de réception.

Il est clair que ces phénomènes se reproduiront jour par jour aux mêmes altitudes et quel que soit l'arc du globe que suit l'onde courte, si cette nouvelle méthode s'avère bonne.

Les expériences.

J'avais soumis cette idée à M. le Capitaine Robert Bureau, lors de la réunion du Comité météorologique international à

[1] En l'occurence Zurich. Mais la différence de latitude entre Paris et Zurich étant faible, on peut admettre sans grande erreur que les altitudes des couches ionisées sont à peu de chose près les mêmes sur ces deux stations.

Copenhague en 1929, en lui demandant de bien vouloir faire transmettre par le poste de T.S.F. militaire du Mont Valérien, près de Paris, des émissions encadrant de trois heures le lever du soleil à El Goléa et à Paris. Je tiens à adresser ici mes plus vifs remerciements à mon collègue de l'Office national météorologique de France, qui contribua grandement à la réussite de mes expériences.

Comme El Goléa et Paris sont situés presque sur le même méridien, il en résulta une notable simplification dans les calculs astronomiques. Au cours des quatre émissions les 26-IX, 29-IX, 31-XI et 2-XI, le champ varia à la réception d'une manière assez arbitraire. Je donnerai ici en abrégé, les résultats du 2 novembre, qui me paraissent les plus conformes aux prévisions.

L'émission commença lorsque l'ombre de la terre se trouvait à plus de 400 kilomètres au-dessus de Paris et d'El Goléa. Quand elle atteignit l'altitude de 280 km je remarquai un premier maximum très intense durant deux minutes, suivi d'une rapide diminution et d'un évanouissement complet, au moment où les rayons solaires passaient à la hauteur de 250 km. Quelques secondes après, l'émission était de nouveau entendue, mais faiblement et irrégulièrement, jusqu'à ce que l'ombre soit à l'altitude de 185 km. Là, le champ devint très régulier et augmenta lentement d'intensité pour fléchir notablement au moment où l'ombre descendait dans l'espace compris entre 153 et 125 km. Puis il augmenta jusqu'à un nouveau maximum correspondant aux altitudes de 100 à 90 km au-dessus d'El Goléa et 170 km au-dessus de Paris. Mais un maximum beaucoup plus remarquable et dépassant tous les autres se produisit un peu plus tard, à 5 h. 31 minutes, quand les rayons rasants atteignirent le kilomètre 110 dans le zénith de Paris (50 km à El Goléa). Ce maximum fut suivi d'un abaissement rapide et graduel et l'émission disparut de 5 h. 37 à 5 h. 39. Pendant ces deux minutes les rayons du soleil franchissaient les couches atmosphériques comprises entre 92 et 85 km au-dessus de Paris (33 à 28 km à El Goléa). A partir de ce moment, la réception changea complètement de caractère. Elle resta irrégulière, saccadée avec quelques pointes jusqu'à ce que la lumière se fit à 50 km au-dessus de Paris. Depuis lors et jusqu'au lever du

soleil à 6 h. 40, l'onde resta d'une limpidité et d'une stabilité étonnante, tout en diminuant lentement. Un léger crochet se produisit 7 minutes après le lever, et à la fin de l'expérience, à 7 h., l'intensité était sensiblement égale à la valeur normale, force R 3.

Discussion.

Il peut sembler téméraire de vouloir tirer une conclusion de la brève histoire de ce sondage le long d'un méridien. Voyons néanmoins ce que disent les chiffres.

Dans un mémoire antérieur j'étais arrivé à la conclusion « que la haute région (l'ionosphère) est composée d'une série de couches concentriques jouant autant de fois le même rôle que la couche de Kennelly-Heaviside » (*loc. cit.*1, p. 259). Essayons d'en évaluer l'altitude d'après les anomalies citées.

On admet généralement que l'effet photoélectrique des rayons solaires arrivant dans les hautes couches se traduit par une augmentation de l'ionisation et par conséquent de l'indice de réfraction des ondes. C'est même un corollaire de ma méthode de sondage par les parasites enregistrés sur grande longueur d'onde. A supposer que ce phénomène affecte aussi les ondes de fréquence beaucoup plus élevée, il se traduira par des maxima d'intensité au moment où les rayons rasants du soleil intercepteront les zones de réflexion. Par contre quand ces rayons ioniseront des couches intermédiaires, les ondes courtes incidentes ou réfléchies qui les traversent, s'affaibliront par absorption.

Ceci étant admis, les sondages Paris-El Goléa donneraient la coupe suivante de l'atmosphère.

En descendant du zénith avec les rayons de l'aurore on rencontre une première couche à 280 km qui joue un rôle important dans la région nocturne du globe. Ce doit être contre elle que viennent se heurter les ondes courtes, dont la plupart sont renvoyées habituellement vers la terre. Sitôt que cette première couche est éclairée par les rayons du soleil levant, son effet disparaît, parce que les ondes sont absorbées dans une zone amorphe, dont l'absorption est maximum vers 250 km

et s'étend jusqu'à 185 km. A cette altitude se trouve la deuxième couche de réflexion qui remplace momentanément la première.

En effet, les sondages par les parasites m'ont donnés à plusieurs reprises, soit à El Goléa, soit à Zurich, les chiffres de 180 à 197 km, comme altitude probable d'une deuxième couche ionisée. Cette coïncidence avec le sondage par les ondes courtes ne me paraît pas fortuite.

Entre 185 et 100 km, altitude moyenne de la troisième couche, de Kenelly-Heaviside — celle-ci varie d'un jour à l'autre — on traverse un milieu intermédiaire, inactif au point de vue de la propagation. Enfin, la quatrième couche de réflexion pour les ondes courtes, se trouverait sensiblement confondue avec la couche d'ozone à 45-50 km.

Dans le cas du 2 novembre, on constate précisément une remarquable coïncidence entre les deux méthodes de sondage préconisées, pour l'altitude de la *couche principale*, celle de Kennelly-Heaviside. A Zurich, le sondage par les parasites donne 83,6 km, chiffre qui est bien proche des 85 km que je trouve à peu près à la même latitude, au sud de Paris, pour le premier point de réflexion de l'onde courte émise par le Mont Valérien.

Il paraît bien établi aujourd'hui que les ondes ne sont pas renvoyées par les couches ionisées, à la manière d'une boule de billard. Le rayon issu de la terre pénètre dans la couche, y est réfracté sur un parcours assez long dépendant de la densité et de la mobilité des ions et en ressort sous un angle qui peut être différent de celui d'incidence. Quel que soit d'ailleurs ce phénomène, il faut convenir que les couches ont une certaine *épaisseur active*. On peut chercher à l'évaluer avec la méthode dont il est question ici, en supposant que les rayons solaires agissent sur la propagation, dès l'instant où ils interceptent le trajet réfracté de l'onde. Je trouve ainsi que, le 2 novembre, le sommet de la couche de Kennelly-Heaviside était situé à 110 km au-dessus de Paris et son « opacité » maximum localisée entre 92 km et 85 km, altitude de sa base.

Point n'est besoin d'insister sur la couche d'ozone à 50 km. Elle est indispensable à l'explication de la propagation du son à grande distance. Mais n'est-il pas remarquable de constater

que la réception ne devint parfaitement stable qu'à partir de l'instant précis où cette couche fut éclairée sur tout le parcours de l'onde, de Paris à El Goléa ! Voilà, me semble-t-il, un fait qui met en évidence le pouvoir réflecteur diurne de cette couche tant discutée.

Le Professeur E.-V. Appleton [1], dans un récent mémoire sur ses expériences bien connues, a donné quelques schémas de l'abaissement de la couche de Kennelly-Heaviside au lever du soleil. La plupart des théories s'accordent à dire, en effet, que cette couche est animée d'un mouvement ondulatoire vertical, d'une *marée*, dont la période est fixée en tout lieu de la terre par la durée du jour. Aux pôles, par exemple, pendant la nuit ou le jour polaire, la couche ne bougerait pas. Sa surface n'est donc en aucun cas une sphère. Elle enveloppe le globe dans deux calottes de rayons différents, jointes par une surface de révolution dont la section a la forme d'une $\int$.

Si cette couche possède seule la propriété de renvoyer au sol les ondes hertziennes de toutes fréquences, on explique difficilement les anomalies très brusques de la réception des ondes courtes au lever du soleil. Il faudrait pour cela que la section de la surface de révolution qui joint les calottes et qui réfléchit les ondes au passage des anneaux crépusculaires, fût une ligne brisée dont chacun des angles vifs correspondît alors à ces anomalies. Une telle image n'est guère concevable. D'autre part, un abaissement par saccade de la couche de Kennelly-Heaviside, qui pourrait fournir une explication, est contraire aux expériences du Prof. Appleton ; le mouvement est régulier et continu.

Il ne reste finalement que l'hypothèse de plusieurs couches, sensiblement concentriques à celle de Kennelly-Heaviside. Ces couches seraient aussi soumises à un mouvement de va-et-vient vertical et journalier, avec une amplitude proportionnelle à leur altitude et une différence de phase réglée par la vitesse de l'ombre de la terre. D'où l'explication de ces quatre anomalies principales dans la réception des signaux du Mont Valérien

[1] E. V. Appleton, F.R.S., On some measurements of the equivalent height of the atmospheric ionised layer, *Proc. of the Royal Society*, Vol. 126, 1930.

au Sahara, qui le 2 novembre 1929 correspondaient au passage des rayons du soleil levant, dans quatre couches ionisées, situées au-dessus de la France, aux altitudes de 280, 185, 85 et 50 kilomètres.

Conclusion : Pendant la nuit les ondes courtes sont renvoyées habituellement par les plus hautes couches ionisées, alors que pendant le jour elles sont essentiellement réfléchies par les basses couches. Au passage de l'obscurité à la lumière elles rebondissent successivement sur chacune de ces couches, en s'abaissant brusquement d'un étage, chaque fois que les rayons rasants du soleil viennent l'éclairer, fig. 5.

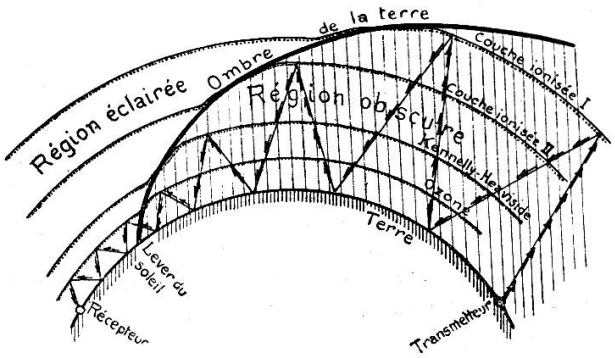

Fig. 5.

* * *

Electricité atmosphérique.

Pour chercher à déterminer l'état électrique près du sol et sa corrélation possible avec les parasites locaux, nous avons fait 50 mesures de petits ions, 20 de gros ions des deux signes, avec un aspirateur d'Ebert et un condensateur de Langevin à capacité de 9 cm et 176 cm, et 500 lectures du champ électrique à l'électromètre bifilaire relié à un fil horizontal de 15 m avec égaliseur radioactif. Ces observations furent faites de jour

et de nuit dans la palmeraie et au sommet du Ksar, colline dominant de 100 m le Grand Erg:

Nombre total de petits ions + par cm³	1659	$\frac{\overset{+}{n}}{\overset{-}{n}} = 2{,}03$
» » » » » — par cm³	819	

Nombre total moyen de petits ions + par cm³ de jour	1749
» » » » » » — par cm³ » »	795
» » » » » » + par cm³ de nuit	1444
» » » » » » — par cm³ » »	702

Rapport entre la nuit et le jour: $\frac{\overset{+}{n}\text{ nuit}}{\overset{+}{n}\text{ jour}} = 0{,}83$; $\frac{\overset{-}{n}\text{ nuit}}{\overset{-}{n}\text{ jour}} = 0{,}88$

L'ionisation pour les ions des deux signes est plus forte de jour que de nuit au Sahara. C'est l'inverse de ce que j'avais trouvé au Mont Blanc [1]. Les amplitudes journalières sont beaucoup plus faibles que dans les hautes altitudes [2].

Nombre total moyen de gros ions + par cm³	15200
» » » » » » — par cm³	15000

Valeur moyenne du champ électrique: 59 volts par mètre; Maxima moyens, 74 v/m; minima moyens, 24 v/m.

Acide carbonique de l'air.

M. Waldmann a fait 700 déterminations avec deux appareils du type Gut, dans le but de déterminer l'influence de la végétation. Il séjourna deux jours en plein désert à 70 km au sud de l'oasis et trouva qu'il y avait effectivement là un peu moins de CO_2 que sous la Palmeraie. Mais les quantités sont en général les mêmes qu'en Europe et dans les hautes altitudes du Mont Blanc, ainsi que nous l'avions déterminé l'année précédente avec le Dr Gut. Ce travail fera l'objet d'une publication Gut-Waldmann.

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

[2] Jean Lugeon, Ionisation et champ électrique à El Goléa; l'éclair visible à 800 km; mirages en automobiles; condensation dans les dunes du Grand Erg, *C. R.*, t. 191, p. 216, Paris, 1930.

Autres phénomènes.

Nous avons observé plusieurs mirages exceptionnellement étendus. L'éclair fut à deux reprises visible à 800 kilomètres. Voir: *C. R.*, *loc. cit.*

La mission comporta 18 appareils différents, soit 850 kg de bagages. Elle fut accréditée par M. le Ministre de l'Air auprès de M. le Gouverneur général de l'Algérie et placée sous la haute protection des autorités militaires françaises au Sahara.

* * *

J'adresse mes remerciements sincères aux nombreuses personnes qui m'ont aidé à la bonne réussite de cette Mission. En Suisse: M. le Prof. Raoul Gautier, Président de la Commission fédérale de Météorologie et les membres de cette Commission, M. le Prof. Maurer, Directeur de l'Institut Météorologique suisse, M. le Prof. Rohn, Président du Conseil de l'Ecole polytechnique fédérale, M. le R. P. Huber et les membres de la Commission suisse d'électricité atmosphérique, M. le Prof. Joye, Recteur de l'Université de Fribourg, MM. les Prof. Gaumann et Tank à l'Ecole polytechnique, M. Bouet, méréorologiste. En France: M. le Ministre de l'Air, M. le général Delcambre, directeur de l'Office national météorologique et son collaborateur, M. le capitaine Bureau. En Afrique: M. le Gouverneur général de l'Algérie, M. le général Meynier, directeur des Territoires du Sud, M. le commandant Belandou, M. le comte de Bruce, chef du Poste d'El Goléa, M. Petitjean, inspecteur de l'O.N.M., M. Fadeuille, chef de Poste, M. André, directeur général des Douanes. Enfin toute ma gratitude s'adresse à mes collaborateurs et amis: Erico Nicola qui a contribué pour une grande part à rendre possible des enregistrements simultanés, Hans Waldmann pour son inlassable dévouement.