

21. COMMISSION DE LA LUMINESCENCE DU CIEL

PRÉSIDENT: Professeur J. Dufay, Directeur de l'Observatoire de l'Université de Lyon, Saint-Genis-Laval (Rhône), France.

MEMBRES: Barber, Barbier, Bates, Cabannes†, Chamberlain, Chapman, Dauvillier, Elvey, Gartlein, Harang, J. Kaplan, Kastler, Krassovsky, Link, Nicolet, Pearse, Ramanathan, Roach, Robley, Seaton, Vassy, Vegard.

INTRODUCTION

Ce rapport, comme le précédent, concerne essentiellement la luminescence de la haute atmosphère pendant la nuit et au crépuscule (night-glow et twilight-glow), en dehors des zones aurorales. Les travaux relatifs aux aurores polaires, particulièrement nombreux pendant l'Année Géophysique Internationale et à la suite de celle-ci, ne seront mentionnés que dans la mesure où ils peuvent affecter la lumière du ciel nocturne proprement dite (activité aurorale aux basses latitudes). La plupart des recherches effectuées en U.R.S.S. sont analysées dans le rapport annexe de V. I. Krassovsky et G. I. Galperin.

SPECTRE D'ÉMISSION DE LA LUMINESCENCE NOCTURNE

Nouvelles raies atomiques

[N I] 5199 Å.

Cette raie avait été observée jusqu'ici au crépuscule et particulièrement en été. Sa présence quasi permanente la nuit a été établie par M. Dufay (1) à l'Observatoire de Haute Provence (latitude $+43^{\circ}9$), par l'examen d'une soixantaine de clichés obtenus de mars 1958 à mars 1959. A 15° de l'horizon nord son intensité présente des fluctuations notables et les périodes de maximums semblent coïncider avec les valeurs élevées de l'indice géomagnétique K_p . Les clichés les plus posés montrent, dans la même région, les plus fortes raies P de la bande OH (9,2), avec les branches Q et R de la bande (6,0).

En Russie, V. S. Prokudina constate que l'intensité de [N I] 5199 Å est en relation avec celle de [O I] 6300 Å (voir rapport Krassovsky-Galperin). Selon Barbier [O I] 6300 Å est aussi exaltée en Haute Provence, vers l'horizon nord, pour $K_p > 6$.

La raie 5199 Å a aussi été observée à la même époque, avec des dispersions plus grandes, par G. Kvitte (2, 3) à As (Norvège, latitude $+59^{\circ}7$) et par D. E. Blackwell, M. F. Ingham et H. N. Rundle (4, 5) à Chicaltaya (Bolivie, latitude $-16^{\circ}3$, altitude 5200 m).

Ha.

Une raie Ha fine, très différente de la raie large des aurores, est enregistrée régulièrement près de Moscou (latitude $+51^{\circ}0$) par S. Prokudina. Son intensité varie entre 5 et 20 Rayleighs.

Kvitte (2, 3) l'observe constamment à As (dispersion 33 Å/mm) avec une intensité variable. En Haute Provence, M. et J. Dufay (6) l'ont trouvée sur plusieurs spectrogrammes (48 Å/mm), avec une intensité comparable à celle de la raie $P_1(4)$ de la bande OH (6,1). Elle est par contre absente sur d'autres clichés normalement posés.

[N II] 6548–6583 Å.

La composante la plus forte du doublet (6583 Å) apparaît nettement sur la plupart des spectrogrammes de Kvitte. La composante faible est plus rarement visible.

L'intensité du doublet, décelé pour la première fois dans la luminescence nocturne, paraît liée à celle de H_{α} . Nos observations semblent vérifier cette covariance: une raie voisine de 6583 Å est faiblement enregistrée sur les clichés montrant H_{α} .

Bandes moléculaires

Région infra-rouge. L'exploration du spectre infra-rouge, poussée précédemment jusqu'à 2.0 μ (Vallance Jones et Gush, 1953) a été étendue respectivement jusqu'à 3.4 μ et 4.0 μ par V. I. Moroz (7) et par J. F. Noxon, A. W. Harrison et A. Vallance Jones (8) au moyen d'une cellule au sulfure de plomb, associée à un monochromateur à réseau.

Les résultats de ces recherches concordent parfaitement. Une faible émission, vers 2.16 μ , correspond à la bande OH (9,7), mais, au-delà de 2,5 μ , le spectre d'émission thermique de la basse atmosphère, dont l'intensité croît vers les grandes longueurs d'onde et augmente avec la température de l'air, masque complètement les bandes les plus fortes de OH; vers 3.0 μ (séquence $\Delta v = +1$). Les accidents que présente ce spectre continu correspondent bien aux bandes d'absorption atmosphérique (H_2O , HDO, N_2O).

La région des longueurs d'onde comprises entre 1.0 et 2.0 μ n'avait été enregistrée, au moyen des spectromètres photo-électriques, qu'avec une faible résolution. Mme J. Connes et H. P. Gush (9, 10) ont repris son étude, à l'Observatoire de Haute Provence, par la méthode de la transformée de Fourier. L'interférogramme est enregistré avec un interféromètre de Michelson à différence de marche variable et le tracé du spectre est obtenu ensuite au moyen d'un calculateur électronique. Suivant la région spectrale, le récepteur est un photomultiplicateur Cs-O-Ag de Lallemand, ou une cellule PbS.

Avec le photomultiplicateur le tracé du spectre dans la région 9500 – 10400 Å, comprenant les bandes de OH (4,1), (9,5) et (3,0) a été obtenu avec la résolution effective $\lambda/\Delta\lambda = 1000$. Avec la cellule PbS la résolution a atteint 2000 dans la région 15000 – 18000 Å et la structure rotationnelle se trouve complètement résolue (durée de l'enregistrement 2^h 30^m).

Région visible. Des progrès importants ont aussi été réalisés dans l'étude de la région visible, où l'emploi de spectrographes à réseaux de dispersion accrue a permis de mieux résoudre la structure rotationnelle des bandes OH.

Les résultats les plus complets, concernant les bandes (9,2), (7,1), (8,2), (5,0), (9,3), (6,1), (7,2) et (8,3), ont été publiés par Kvitte (2, 3) (33 Å/mm). Dans leur station élevée des Andes Boliviennes, Blackwell, Ingham et Rundle (4) ont pu photographier le spectre du ciel à 84° du zenith et ils ont analysé les bandes (7,1), (8,2), (5,0) et (9,3). M. et J. Dufay ont observé aussi les bandes (8,2), (5,0), (9,3) et (6,1) à l'Observatoire de Haute Provence, mais ils n'ont encore publié que l'analyse de la bande (6,1) (6).

De l'ensemble de ces mesures, très concordantes et dont la précision est en général de l'ordre de 0.5 Å, il résulte que les longueurs d'onde observées coïncident fort bien avec les valeurs calculées par K. H. Richardson et E. Gush (11), pour les bandes correspondant aux niveaux de vibration $v' \leq 6$. Les écarts systématiques apparaissent pour $v' > 6$: les longueurs d'onde observées sont plus grandes que les valeurs calculées dans le cas des niveaux de rotation > 5 . Dans la bande (9,3) par exemple, l'écart atteint déjà 2 Å pour les raies $P(6)$ et dépasse 3 Å pour les raies $P(7)$.

Aucune radiation étrangère au spectre de vibration-rotation de OH n'a été signalée par les auteurs précédents dans la région visible, à part une faible raie d'origine inconnue observée à 6437.6 Å par Blackwell, Ingham et Rundle. Cependant l'étude de 59 spectrogrammes obtenus entre 5400 et 6700 Å a conduit T. G. Megrelisvili et I. A. Hvoshtikov (12) à identifier, dans la luminescence crépusculaire, 8 bandes de $N_2(2P)$, 3 bandes de CO (systèmes d'Asundi, d'Ang-

ström et système de triplets), 3 bandes de C_2 , 2 raies de Ca 1 et peut-être la raie de résonance de Li 1, superposée à une 9^{ème} bande de $N_2(2P)$. Par centre le système de vibration-rotation de OH n'était représenté que par 4 raies *P* de la bande (6,1). Ces résultats étonnants ne peuvent évidemment être acceptés qu'avec d'expresses réserves.

Région bleue. J. W. Chamberlain (13) a publié en détail le travail dont il avait donné un aperçu à l'Assemblée Générale de Moscou (*Trans. IAU*, 10, 328, 1958), concernant la région bleue (35 et 21 Å/mm). En plus de nombreuses bandes de Herzberg (jusqu'à $v' = 7$), il décrit des bandes plus faibles, qu'il attribue à un nouveau système de O_2 .

Intensités des bandes de OH. Kvifte, ainsi que Blackwell, Ingham et Rundle (*loc. cit.*) ont mesuré, par photométrie photographique les intensités totales de quelques bandes visibles.

Les mesures photo-électriques plus directes de M. Dufay (14), portant sur les bandes infra-rouges, sont en excellent accord avec celles de N. I. Fedorova (15, 16), faites au convertisseur d'images. La comparaison aux valeurs théoriques données par Roach et Heaps et Herzberg est peu satisfaisante: par rapport aux bandes à v' élevés (et particulièrement $v' = 9$), les bandes correspondant aux faibles valeurs de v' sont beaucoup plus fortes qu'il n'était prévu. Dans l'infra-rouge plus lointain, Noxon, Harrison et Vallance Jones notent que le rapport des intensités des bandes (5,3) et (9,7) est supérieur à 3, alors qu'il devrait être voisin de 1.2 d'après Heaps et Herzberg. Il paraît donc certain que toutes les molécules OH ne sont pas formées au niveau $v' = 9$, comme l'avaient supposé Heaps et Herzberg.

Abandonnant cette hypothèse, J. W. Chamberlain et C. A. Smith (17) ont évalué les populations des niveaux de vibration, en se servant, d'une part des probabilités de transition, dont ils ont amélioré le calcul, d'autre part des intensités relatives mesurées par Fedorova et par M. Dufay. Ils ont aussi donné les intensités *absolues* de chacune des bandes du ciel, en adoptant, pour la bande (7,3) la dernière valeur obtenue par Fedorova (2700 Rayleighs), en bon accord avec R. Onaka et H. Nakamura (2500 R) (18). D. M. Gates et E. Jones (19) ont aussi recalculé les probabilités de transition, jusqu'à $v' = 9$, en tenant compte du terme quadratique du moment de dipôle. Mais, pour chiffrer les intensités attendues dans la luminescence nocturne, ils ont encore adopté les populations relatives des niveaux de vibration de Heaps et Herzberg.

Détermination optique des températures et altitudes

Les chocs sont assez fréquents vers 80 km d'altitude pour que la température de rotation T_r des bandes OH soit approximativement égale à la température locale de l'atmosphère. L'accroissement de T_r avec la latitude, signalé précédemment par Chamberlain et Oliver et par Krassovsky peut traduire soit une diminution de l'altitude d'émission des bandes aux latitudes élevées, soit un réel accroissement de la température locale, à altitude constante.

L'effet de latitude est confirmé par les nombreuses observations faites en U.R.S.S. depuis 1958. Le rapport annexe de Krassovsky et Galperin contient les résultats d'ensemble relatifs à l'étude récente des bandes de OH en Russie. (On trouve dans (16) un résumé en anglais des observations russes précédentes).

L. Wallace (20) a montré que l'approximation obtenue en prenant pour l'énergie de rotation $F(J) \approx B_e J(J+1)$ conduisait à des températures trop élevées quand on se sert de l'intensité des raies *P*. La correction de l'ordre de -20° pour $T_r \approx 250^\circ K$, a été faite, *quand il y avait lieu*, dans les mesures citées ci-dessous.

Par photométrie photographique sur les bandes du proche infra-rouge, D. H. McPherson et A. Vallance Jones (21) ont trouvé respectivement à Saskatoon (latitude $+52^\circ.1$), Churchill ($+58^\circ.8$) et Resolute Bay ($+74^\circ.7$), $T_r = 216^\circ, 227^\circ$ et $274^\circ K$, confirmant encore l'effet de

H

latitude. Mais, à Saskatoon, les observations, plus nombreuses, mettent en évidence des variations significatives, dont le caractère saisonnier n'est pas clairement établi.

A As (latitude $+59^{\circ}7$), Kviite (2,3) obtient, au moyen des bandes (9,3) et (6,1), $T_r = 215$ °K, avec une dispersion qui ne dépasse pas quelques degrés d'un spectrogramme à l'autre. Mais à latitude -16° , Blackwell, Ingham et Rundle (4) trouvent, sur les bandes (8,2) et (9,3) une température très élevée ($T_r = 271$ °K).

En Haute Provence ($+43^{\circ}9$) M. Dufay (14) aboutit à une température voisine de 230 °K, en comparant les intensités mesurées dans les branches *P* des bandes (6,2) et (7,3) aux valeurs calculées pour diverses valeurs de T_r . A la même station, J. Connes et H. P. Gush (10) opèrent d'une manière analogue, mais avec plus de précision. Ils construisent des spectres synthétiques, en faisant varier la température de 10 en 10° , entre 200° et 280° °K, puis, par une méthode des moindres carrés, ils cherchent la valeur de T_r qui représente au mieux les intensités mesurées dans les branches *P* des bandes (5,3), (4,2) et (3,1). 3 spectrogrammes distincts ont conduit à $T_r = 227^{\circ}$, 242° et 245° °K. Mais les intensités des branches *Q* sont, dans les trois cas, inférieures aux valeurs calculées avec les températures ci-dessus. Il paraît impossible de représenter, au moyen d'une température unique, les intensités mesurées simultanément dans les branches *P*, *Q* et *R*. L'incertitude des probabilités de transition calculées (par Benedict, Plyler et Humphreys) en négligeant l'interaction vibration rotation, est peut-être responsable de cette anomalie.

Pour déterminer la température à partir de la largeur de la raie [O I] 5577 Å, M. Perrin (22) s'est servi à Beni-Abbès (Sahara) de l'interféromètre photo-électrique de Pérot et Fabry décrit par Karandikar (voir rapport 1958). Le profil de la raie, déterminé par transformée de Fourier, semble différer peu d'un profil Doppler. Les températures obtenues, en visant à 15° de l'horizon nord, s'échelonnent entre 175° et 235° °K. Une mesure au zénith a donné 180 °K.

Ces résultats, peu différents de ceux précédemment publiés, s'accordent bien avec l'altitude d'émission de 100 km, trouvée directement par l'ascension des fusées et indirectement par la méthode de van Rhijn. C'est effectivement une altitude moyenne de 100 km qu'ont évaluée, par cette dernière méthode, F. E. Roach, L. R. Megill, M. H. Rees et E. Marovich à Fritz Peak (Colorado) (23), ainsi que D. Barbier et J. Glaume en Haute Provence (24).

Observations à haute altitude

Les mesures photométriques effectuées à bord des fusées renseignent directement sur l'altitude des émissions. Elles sont aussi capables de déceler des radiations de courtes longueurs d'onde inobservables au sol, mais susceptibles de jouer un rôle important dans la haute atmosphère.

R. Tousey (25) a publié, avec plus de détails, les résultats des mesures sur les raies 5577 , 5893 et 6300 Å signalés sans le rapport 1958. Une nouvelle ascension (mars 1957) a montré entre 90 et 110 km, l'existence d'une émission dans la région 2600 – 2900 Å, qui doit concerner les plus fortes bandes de Herzberg. D'autre part, les émissions observées avec des filtre-interférentiels à bandes passantes étroites, autour de 5230 et 5410 Å, sont localisées respectivement entre 85 et 110 km, avec un maximum à 100 km. Des résultats analogues avaient été obtenus précédemment autour de 5203 et 5277 Å. Comme on ne connaît aucune bande ou raie brillante dans la luminescence nocturne près de 5410 Å, toutes ces émissions semblent devoir être attribuées au spectre d'émission continu de la haute atmosphère, dont l'existence, dans le bleu, est confirmée par Chamberlain (13). Les observateurs soviétiques lui attribuent une intensité de l'ordre de plusieurs Rayleighs par angström et trouvent deux maximums, l'un dans le bleu, l'autre dans le rouge, dont le rapport n'est pas toujours constant (voir rapport Krassovsky-Galperin).

Avec des compteurs de photons portés par une fusée, J. E. Kupperian, E. Byram, T. A. Chubb et H. Friedman (26, 27) ont décelé, dans la luminescence nocturne, à partir de 75 km d'altitude, un rayonnement Lyman α provenant de toutes les directions, mais présentant un minimum net dans la direction opposée au Soleil. A partir de 85 km, la raie est aussi observée en provenance de l'atmosphère terrestre située *au-dessous* de la fusée. L'intensité des deux composantes augmente jusqu'à l'altitude 120 km et demeure ensuite constante.

Selon les auteurs, la pression composante doit être émise, par résonance optique, sous l'action de la raie La solaire, par les atomes neutres d'hydrogène de l'espace interplanétaire. La seconde proviendrait d'une nouvelle résonance provoquée par la raie La interplanétaire rencontrant les atomes d'hydrogène contenus dans l'atmosphère entre 85 et 120 km (l' 'albédo effectif' de l'atmosphère pour La serait de 0.4).

Les discussions de I. S. Shklovsky (28) et de J. C. Brandt et J. W. Chamberlain (29) confirment cette hypothèse. Une densité de 0.2 ou 0.3 atomes H par cm^3 dans l'espace autour de la Terre suffirait à rendre compte de l'intensité de la raie La . La raie Ha observée au sol dans la luminescence nocturne pourrait aussi provenir de l'espace interplanétaire: après avoir absorbé la raie $L\beta$ solaire, ces atomes peuvent en effet revenir à l'état normal en émettant successivement les raies La et Ha . Dans cette hypothèse la raie Ha nocturne devrait être fortement polarisée et ses variations seraient en relation avec celles de Lyman solaires.

Mais la découverte par Kvitte (2, 3) du doublet rouge de $[N II]$, dont l'intensité paraît liée à celle de Ha constitue un fait nouveau — et peut être une objection — dont il y a lieu de tenir compte.

INTENSITÉS ET COMPORTEMENT DES DIVERSES RADIATIONS

Raie 5577 Å.

A l'occasion de l'AGI, des mesures photo-électriques ont été faites en de nombreuses stations, notamment dans l'Antarctique, en Australie, au Congo, aux Etats-Unis, en France, en Inde, au Japon, au Sahara et en Tchécoslovaquie (30). Les résultats partiels publiés jusqu'ici concernent surtout la raie $[O I] 5577 \text{ Å}$.

Roach et ses collaborateurs (31, 32, 33) ont comparé les mesures absolues de la raie verte provenant de 5 stations américaines (dont 1 dans l'Alaska) de 7 stations japonaises, du Greenland (Thule), de France (Haute-Provence), du Sahara (Tamanrasset), de l'Inde (Mont Abu), du Congo (Lwiro) et d'Australie (Camden). Dans tous les cas la courbe de fréquence des intensités tombe bien plus lentement vers les grandes intensités que vers les petites. Ces résultats ont conduit les auteurs à penser que l'émission de 5577 Å dans le ciel nocturne et les aurores ne constituait qu'un seul et même phénomène et que, pour cette radiation au moins, l'aurore ne représentait qu'un paroxysme de la luminescence nocturne (34).

Barbier est d'un avis contraire (35). Il fait observer que les deux phénomènes possèdent des caractères morphologiques et spectroscopiques qui permettent de les distinguer l'un de l'autre, et que souvent la raie 5577 Å n'est pas renforcée dans les aurores observées aux basses et moyennes latitudes. Il montre enfin que la dissymétrie des histogrammes peut fort bien s'expliquer dans le mécanisme d'excitation par chocs triples de Chapman. F. E. Roach, J. W. McCaulley, E. Marovich et C. M. Purdy (33) ont finalement rassemblé les arguments favorables et les arguments contraires à leur interprétation.

La répartition non uniforme de la brillance pour la raie 5577 Å suggère l'existence de nuages lumineux discrets. Quand deux points du ciel montrent, au cours de la nuit, des changements d'intensité semblables, F. E. Roach, E. Tandberg-Hanssen et L. R. Megill (36) admettent qu'ils appartiennent à une même 'cellule'. Deux points affectés de variations différentes appartiendraient au contraire à deux cellules distinctes. Une autre méthode consiste à déter-

miner, au moyen de la carte des isophotes correspondant à un instant donné, la distance linéaire d'un maximum et d'un minimum d'intensité, qui peut représenter le rayon de la cellule. Par ces deux procédés les auteurs aboutissent à des diamètres de l'ordre de 2500 km. Ils cherchent également à mettre en évidence les mouvements de translation et de rotation des cellules (37).

C'est d'un point de vue différent que D. Barbier et J. Glaume (38) analysent les mesures de la raie verte en Haute Provence. Sur un cercle parallèle à l'horizon, à 15° de hauteur, ils observent très souvent un seul maximum, qui se trouve généralement *vers le sud*, parfois deux maximums situés vers l'est et l'ouest. La tendance à montrer un maximum vers le sud est surtout marquée en été. Il semble en être de même à Cactus Peak (Californie).

Raie 6300 Å.

Barbier (39) a complété son étude de la raie 6300 en Haute Provence, dont le comportement diffère totalement de celui des autres radiations (voir rapport 1958). Il a mis en évidence l'existence d'un véritable phénomène crépusculaire, sur lequel on reviendra plus loin. En dehors de celui-ci, on observe une décroissance d'intensité au début de la nuit. Elle est suivie (en hiver) d'une phase constante, puis vers la fin de la nuit, d'une phase d'intensité croissante, qui n'apparaît pas en période de minimum d'activité solaire. Cette dernière résulte de l'extension d'une nappe lumineuse provenant du nord, qui se propage vers le sud, suivant le méridien géomagnétique.

Covariance et corrélations. La discussion des mesures faite régulièrement en Haute Provence, depuis 1953, avec un photomètre à 8 couleurs dirigé vers le pôle, conduit D. Barbier et J. Glaume (40) à préciser les corrélations précédemment trouvées entre les intensités des diverses radiations (voir rapport 1955).

Entre les radiations 5260 et 4400 Å (qui correspondent au spectre continu, groupe A) et 6700–6300 Å (bandes de OH, groupe B), les corrélations s'apparentent à une véritable proportionnalité. Mais il est aussi possible de rendre compte des corrélations non linéaires entre [O I] 5577 Å, les bandes de Herzberg et le spectre continu (groupe A) sur la base des mécanismes d'émission probables.

Les auteurs étudient les effets de contamination par des radiations étrangères et montrent comment on peut en corriger les mesures.

La covariance de la bande O₂ (0·1), à 8650 Å et de la raie 5577 Å, suggérée par Berthier, est bien vérifiée par les mesures de M. Dufay (14).

Variations systématiques. A l'aide du même matériel, Barbier (41) étudie les variations au cours du cycle d'activité solaire, pendant l'année et pendant la nuit. La raie 5577 Å et les radiations covariantes (groupe A: 5260, 4400, 3670 Å) ont subi un net accroissement d'intensité entre 1955–56 et 1956–57, au moment de la reprise de l'activité solaire. S'il existe un effet semblable sur les raies du sodium et les bandes de OH (groupe B), il est beaucoup plus petit.

Au cours de l'année, 5577 Å et les radiations associées montrent deux forts maximums, d'importance comparable, en été et en octobre-novembre, avec un troisième maximum bien plus petit en février-mars. La variation annuelle des raies D et des bandes de OH est caractérisée par un grand maximum en novembre et un petit maximum assez large (peut-être, double) au printemps, qui peut s'étendre de mars à mai.

De novembre à février, 5577 Å (comme les autres radiations du groupe A) présente un maximum vers le milieu de la nuit, généralement un peu après. De mai à août, l'intensité augmente légèrement du début à la fin de la nuit. Pendant les autres mois, l'intensité est en moyenne sensiblement constante.

L'intensité des raies D et des bandes de OH croît après 22 heures et jusqu'à la fin de la nuit de novembre à mars (sauf peut-être en janvier où on observe un maximum).

Phénomènes aux basses latitudes. A Tamanrasset (Sahara, latitude $+22^{\circ}8$), les variations annuelles étudiées avec un photomètre fixe, diffèrent de celles trouvées en Haute Provence. Le maximum d'été est complètement absent dans la famille de la raie verte (A); pour les deux groupes A et B de radiations covariantes, le maximum de printemps est presque aussi important que celui d'automne (41).

La raie 6300 Å montre souvent, au cours de la nuit, une exaltation considérable; en hiver son intensité peut atteindre 3000 Rayleighs alors qu'à même époque elle est en moyenne de 200 Rayleighs en Haute Provence. Pour étudier ces renforcements, D. Barbier et J. Glaume (42, 43) ont eu recours, en janvier 1960, aux enregistrements, à 75° du zénith, du photomètre tournant. Ils ont ainsi découvert un phénomène nouveau. Un arc lumineux traverse, à une altitude de 200 à 300 km, le ciel de Tamanrasset, perpendiculairement au méridien géographique. Peu apparent au début de la nuit, l'arc se déplace pendant la plus grande partie de celle-ci du nord vers le sud, mais le sens du mouvement s'inverse vers la fin de la nuit avant que l'arc ne disparaisse. Sa latitude maximum est voisine de 27 à 29° ; elle devient inférieure à 17 ou 15° quand l'arc sort du champ d'observation vers le sud.

L'arc émet aussi la raie 5577 Å avec une intensité environ 5 fois moindre.

Barbier a entrepris récemment des observations en avion pour suivre les déplacements de l'arc au sud de Tamanrasset. Les renforcements de la raie rouge paraissent encore plus considérables à Lwiro (Congo, latitude -2°) qu'à Tamanrasset, d'après les observations de A. et D. Delsemme (44) effectuées avec un photomètre fixe. Les auteurs trouvent une corrélation notable entre les intensités de 6300 et 5577 Å, qui doit bien être réelle, et non imputable comme ils le pensent à un effet de contamination.

A Poona (Inde, latitude $+18^{\circ}5$) M. V. Chiplonkar et P. V. Kulkani (45) trouvent aussi une corrélation importante entre les intensités des deux raies ($r = 0.62$).

A Maruyama (Japon, latitude $+35^{\circ}$), station dont la latitude géomagnétique est presque égale à celle de Tamanrasset ($\approx 25^{\circ}$), les observations de M. Huruha, T. Nakamura, H. Tanabe et Tohmatsu (46) montrent seulement un maximum de 6300 vers le sud, au milieu de la nuit, qui peut correspondre à la bordure méridionale de l'arc.

ÉMISSIONS CRÉPUSCULAIRES

[O I] 6300–6364 Å.

Il est difficile de mettre en évidence l'émission crépusculaire des raies rouges, à laquelle se superposent des variations non crépusculaires, particulièrement importantes le soir. C'est à l'aube, en hiver, que ces phénomènes parasites sont les moins gênants, et Barbier parvient alors à isoler l'émission crépusculaire proprement dite en faisant l'hypothèse qu'elle dépend seulement de la dépression du Soleil au-dessous de l'horizon et de l'azimut par rapport au Soleil de la région visée (39).

Au Pic-du-Midi, R. Robley (47) étudie la distribution de l'intensité des raies rouges avec un photomètre à grand champ de Blamont et Courtès. L'épaisseur de la lame de quartz du filtre Savart-Lyot est choisie de manière à superposer les systèmes de franges données par les raies 6300 et 6364 Å. L'intensité globale des deux raies est mesurée, en valeur relative, par le contraste des franges et conduit à tracer les isophotes sur un champ de 120° . L'intensité absolue résulte de mesures photoélectriques concomitantes. La contamination, inévitable avec ce dispositif, par la bande (9,3) de OH paraît négligeable au crépuscule. L'interprétation

des observations de Barbier et Robley fait immédiatement intervenir les mécanismes d'excitation dont il sera question plus loin.

Na I. Raies D.

J. E. Blamont continue à enregistrer en permanence à l'Observatoire de Haute Provence, et temporairement à Tamanrasset, l'émission crépusculaire, au moyen de son photomètre à balayage magnétique. L'analyse des observations de 1955-57, en collaboration avec T. M. Donahue et V. R. Stull (48) semble mettre en évidence une émission plus forte vers l'ouest (direction de l'Atlantique) que vers l'est. L'abondance du sodium varie de 2×10^9 à 30×10^9 atomes cm^2 . Comme dans le cas de l'émission nocturne, l'intensité est maximum en novembre-décembre et en mars et minimum en été. J. E. Blamont, T. M. Donahue et W. Weber (49) étudient aussi, d'après les mêmes documents, la distribution verticale du sodium (valeur moyenne de l'altitude de la couche émissive 88 km).

Les résultats les plus récents conduisent Blamont (50) à considérer la couche émissive comme constituée par des nuages d'environ 1000 km de diamètre et d'épaisseur voisine de 10 km; son altitude pourrait varier, d'un jour à l'autre, entre 70 et 120 km.

Blamont et Donahue (51) ont réussi récemment à mettre en évidence l'émission du sodium pendant le jour. Les raies D, observées dans le spectre du ciel bleu, sont moins creusées au centre que dans le spectre solaire direct et la différence, attribuable à l'émission atmosphérique, varie avec la distance zénithale du Soleil. Il y aurait dans l'atmosphère 4 fois plus de sodium pendant le jour qu'au crépuscule.

Nguyen Huu-Doan a repris, en Haute Provence, la mesure systématique du rapport D_2/D_1 des intensités des deux raies. Avec un étalon interférentiel de Pérot et Fabry, il a obtenu la nuit $D_2/D_1 = 1.90$, valeur voisine du rapport théorique. Mais, au crépuscule, la valeur moyenne trouvée est ≈ 1.50 , avec des variations notables (52) d'un jour à l'autre. Avec le spectrographe à réseau de M. Dufay (6) qui sépare largement les raies D et se prête plus facilement aux mesures quantitatives, Nguyen Huu-Doan a constaté un accroissement progressif du rapport D_2/D_1 à mesure qu'augmente la dépression solaire (53).

Qualitativement au moins ces résultats sont conformes aux prévisions théoriques de Donahue et Stull (54), qui ont calculé le rapport D_2/D_1 en fonction de la dépression solaire et de l'abondance du sodium, à 90° de l'azimut du Soleil (les expériences de Doan étaient faites dans l'azimut solaire). D'autre part l'étude théorique de la résonance du sodium atmosphérique entreprise par Chamberlain et Hunten, a été poursuivie dans le détail par J. W. Chamberlain, D. M. Hunten et J. E. Mack (55), J. C. Brandt et J. W. Chamberlain (56), J. C. Brandt (57), H. N. Rundle, D. M. Hunten et J. W. Chamberlain (58) et par D. M. Hunten (59).

Avec un photomètre à grand champ comprenant deux miroirs sphériques convexes, deux lentilles associées chacune à un filtre coloré différent et 4 polaroïds, D. R. Barber (60) obtient simultanément 4 images du ciel qui lui permettent de mesurer les intensités des raies D et de fond continu adjacent dans deux directions de polarisation rectangulaires. Il a observé ainsi, Sidmouth (Devon), comme précédemment avec un photomètre photo-électrique, un certain nombre de crépuscules à polarisation anormale. L'intensité des raies D paraît plus grande dans la direction de la mer et il semble qu'elle varie avec l'âge de la Lune: elle serait plus forte aux nouvelles lunes et aux pleines lunes qu'aux premiers et aux derniers quartiers (résultats préliminaires).

En 1960, J. E. Blamont a procédé, en Algérie, à l'émission de plusieurs nuages artificiels de sodium (parfois mélangés de potassium et de lithium), au moyen de fusées 'Véronique' lancées au crépuscule. Les résultats partiels actuellement publiés concernent la vitesse des vents en altitude, la turbulence et la densité de l'atmosphère (61) et l'élargissement des raies

par autoabsorption et diffusion multiple (62). Le rapport des intensités D_2/D_1 , mesuré avec un étalon interférentiel, passait de 1.10, 5 minutes après le début de l'éjection, à 1.40, 25 minutes après (altitudes 115 et 105 km).

Pendant les expériences, un photomètre à effet Zeeman étudié, comme d'habitude, la *couche naturelle*. Un appareil identique détermine la largeur des raies émises par le *nuage artificiel*. La comparaison des mesures montre que l'ombre de la couche naturelle, étendue sur le nuage, a pour effet d'élargir les raies. De là résulte une méthode d'étude de la couche naturelle plus précise que toute autre. Son altitude, mesurée à 1 km près, était anormalement basse le 2 mars (67 km) (63).

[O I] 5577 Å.

Le renforcement crépusculaire de la raie verte, signalé par J. et M. Dufay (1948), n'avait été retrouvé ni par E. Manring et H. Pettit, ni par Koomen, Packer et Tousey, au moyen d'un photomètre photoélectrique isolant très rigoureusement la raie avec un filtre biréfringent tournant. Avec un dispositif analogue, L. R. Megill (64) a observé le phénomène en même temps que le renforcement de [O I] 6300 Å, à Rapid City et à Fritz Peak.

Les mesures relatives à la nuit du 6 au 7 janvier 1958, faites à 75° du zénith, dans l'azimut du Soleil montrent que lorsque la base de l'atmosphère éclairée passe de 200 à 100, puis à 75 km, l'intensité de la raie est multipliée le matin par les facteurs 2.5 et 6.3 le soir par 2.3 et 4.6.

N₂ 3914 Å.

G. Weill (65, 66) a mesuré pendant 40 nuits, en 1957, l'intensité de la bande 3914 Å à la base Dumont d'Urville, Terre Adélie (co-ordonnées géographiques: latitude -66°·7, longitude 140°E; co-ordonnées géomagnétiques: latitude -75°·6, longitude 8°E), au moyen d'un photomètre tournant muni d'un filtre interférentiel approprié.

A 10° de l'horizon l'intensité et la direction du maximum d'intensité varient assez régulièrement avec la dépression solaire, mais l'azimut du maximum ne suit qu'approximativement celui du Soleil et se trouve généralement décalé vers le nord. L'émission est plus forte le matin que le soir et sa variation annuelle est, en gros, symétrique par rapport aux solstices.

Weill admet que l'intensité est fonction de l'altitude de la zone éclairée de l'atmosphère et de sa latitude géomagnétique et détermine ces fonctions. De l'étalonnage absolu du photomètre il déduit le nombre de photons émis par cm³ à chaque altitude. Dans l'hypothèse tout à fait probable (Bates) où l'émission se fait par résonance optique, il calcule enfin la densité moyenne des ions N₂⁺: 2000 ions/cm³ à 200 km, 450 à 300 km, 180 à 500 km, etc. . . . D'après les résultats provisoires obtenus avec un spectrographe à réseau, la densité ionique paraît augmenter rapidement au-dessous de 200 km.

O₂ 1.58μ.

Vallance Jones et Harrison (67) ont observé une nouvelle émission crépusculaire dans l'infra-rouge: il s'agit de la bande (0,1) du système ${}^1\Delta_g - {}^3\Sigma_g^-$ de O₂, à 1.58μ. Compte tenu du fait que la durée de vie du niveau supérieur ${}^1\Delta_g$ est 20 minutes, l'émission correspond à une postluminescence dans le crépuscule du soir, à une altitude de 60 à 70 km. Au moment où la ligne de visée rencontre à 60 km d'altitude l'atmosphère éclairée, l'intensité de l'émission, rapportée au zénith, atteint 17 000 Rayleighs. Le premier article de Vallance Jones annonçant sommairement cette découverte (67) contient aussi des détails sur l'émission des raies H et K de Ca II au crépuscule (voir rapport 1958).

Li I, 6708 Å.

J. Delannoy et G. Weill (68) ont signalé la présence de la raie de résonance du lithium dans

le spectre du ciel crépusculaire, observé à la station Dumont d'Urville en 1957 (surtout août et septembre) et en 1958 (tout le mois de septembre). La raie a aussi été observée par Gadsden et Salmon (69) dans l'Antarctique en août 1958 et en Nouvelle Zélande le 5 septembre.

Un premier examen des clichés a conduit Barbier, Delannoy et Weill (70) à évaluer de l'ordre de 6×10^{-3} le rapport des nombres d'atomes Li et Na présents dans la haute atmosphère. Une étude plus complète de Delannoy (71) donne comme valeurs probables de ce rapport 7×10^{-4} en 1957, 8×10^{-3} en 1958. Ces chiffres seraient assez favorables à l'origine météoritique du lithium et du sodium atmosphériques (rapport dans les météorites: $\sim 2 \times 10^{-3}$, dans l'eau de mer $\sim 2 \times 10^{-5}$).

Cependant le comité américain de l'Année Géophysique Internationale (72) pense que le lithium observé en 1958 provenait d'explosions thermonucléaires effectuées dans le Pacifique (île Johnston 1 et 12 août 1958) et c'est à cette opinion que se rallie, pour diverses raisons, D. R. Barber (73). Comme la raie 6708 Å a été observée déjà, avec une intensité plus faible; en 1957, en absence d'essais thermonucléaires connus, de nouvelles observations systématiques semblent nécessaires pour résoudre le problème de l'origine du lithium atmosphérique.

K 7665–7699 Å.

E. A. Lytle et D. M. Hunten (74) ont cherché à détecter, au crépuscule, les raies de résonance du potassium. La raie 7665 est certainement masquée par une raie d'absorption de la bande A de O₂, mais il n'en est pas de même de la raie 7699. Les observations, faites de l'été 1957 au printemps 1958, en visant à 10° de l'horizon, avec un spectromètre photoélectrique de Hunten, n'ont pas montré la raie cherchée.

Les auteurs firent de ce résultat négatif une *limite inférieure* du rapport Na/K des abondances relatives du sodium et du potassium dans l'atmosphère. Les nombres obtenus s'échelonnent entre 17 et 35. Or le rapport des abondances cosmiques Na/K est généralement compris entre 5 et 10 (~ 7 dans les météorites), tandis que, dans l'eau de mer, il atteint 47. Lytle et Hunten pensent donc que l'expérience est en faveur de l'origine marine du sodium atmosphérique. Peut-être serait-il utile de reprendre les observations avec un dispositif doué d'une plus grande résolution?

AURORES DE BASSES ET MOYENNES LATITUDES

Etude photométrique

De mars 1956 à octobre 1957, en Haute-Provence, D. Barbier (75) a observé avec 2 photomètres tournants et le photomètre à 8 couleurs dirigé vers le pôle, 30 aurores dont 9 ont été visibles à l'œil.

La manifestation la plus fréquente est une aurore rouge où dominent les raies 6300–6364 Å. Elle a normalement l'aspect d'une lueur diffuse vers le nord et, après une période active, peut former un *arc monochromatique* en 6300–6364 Å. Observé 4 fois d'une manière très nette, l'arc se déplace du nord vers le sud, s'arrête vers la latitude 45° et disparaît sur place. Sa largeur paraît de l'ordre de 800 km.

Les périodes de forte activité de l'aurore rouge s'accompagnent parfois d'une *aurore blanche*, émettant essentiellement, avec les raies de [O I], les bandes de N₂⁺ et la raie [N I] 5199 Å. Elle ne s'élève pas en général très haut sur l'horizon et produit une lueur diffuse avec des rayons. On a aussi observé des aurores éclairées par le Soleil où les bandes de N₂⁺ sont renforcées.

F. E. Roach et E. Marovich ont aussi observé l'arc monochromatique 6300 à Fritz Peak le

29 octobre 1957 (76), en même temps que Barbier et à Rapid City le 22 octobre 1957 (77). En cette dernière occasion son orientation a pu être précisée: il faisait avec les parallèles magnétiques un angle d'environ 9° la pente ouest au nord des parallèles. Une orientation semblable a déjà été trouvée pour les arcs des régions polaires. Aucune relation n'est apparue entre l'arc et l'aurore active, visible en même temps près de l'horizon N-N-E.

Relation avec la ceinture interne de rayonnement de Van Allen. Roach a suggéré l'existence d'une relation entre l'arc monochromatique et la ceinture interne de rayonnement corpusculaire de Van Allen. L'hypothèse semble bien confirmée par les observations plus récentes de B. J. O'Brien, J. A. Van Allen, F. E. Roach et G. W. Gartlein (78).

Pendant le fort orage magnétique des 27-28 novembre 1959, le satellite 'Explorer VII' est passé, vers 1000 km d'altitude, au-dessus d'une aurore brillante. Les deux compteurs de Geiger qu'il portait ont enregistré alors, dans une zone étroite, un fort maximum du rayonnement corpusculaire. Durant 3 autres passages consécutifs du satellite, des zones de rayonnement intense ont ensuite été décelées au-dessus d'un arc monochromatique 6300 observé photométriquement à Cactus Peak, Fritz Peak et Sacramento Peak (altitude déterminée par triangulation ≈ 400 km) (79). D'un passage à l'autre l'intensité du rayonnement corpusculaire a décré en même temps que celle de l'arc.

Les électrons de la ceinture interne de Van Allen, captés par le champ magnétique terrestre, possèdent une énergie largement suffisante pour provoquer l'émission aurorale.

Relation avec l'activité géomagnétique. En Haute-Provence (lat. géom. $+46^\circ$), Barbier vérifie que l'intensité de la raie 6300 augmente en même temps que l'indice géomagnétique K_p (75). Seul, fait exception le brillant phénomène du 21 janvier 1958, qui correspond à une faible activité ($K_p \approx 2$). Dans le rouge et le proche infra-rouge, en dehors du renforcement énorme de [O I] 6300-6364 Å (peut-être de l'ordre de 300), M. Dufay et G. Moreau (80) n'ont constaté que de faibles modifications du spectre nocturne habituel, dues, très probablement, à la présence des bandes (2,0) et (3,1) (vers 7850 et 8075 Å) du système de Meinel N_2^+ ($A^2\pi - X^2\epsilon$) et du multiplet 8444 Å de [O I].

Les résultats de Barbier ne concernent que les nuits où la présence de l'aurore est certaine. Ceux qui vont suivre s'appliquent au contraire à toutes les nuits, avec ou sans aurore.

Au Nouveau-Mexique (lat. géom. $+21^\circ$), de 1955 à 1957, E. R. Manring et H. B. Pettit (81) n'ont noté aucune relation entre les émissions nocturnes et l'activité magnétique. Roach et ses collaborateurs (82, 83) trouvent au contraire que l'intensité *moyenne* de la raie 5577 augmente avec K_p à Fritz Peak (lat. géom. $+49^\circ$) et à Rapid City (lat. géom. $+53^\circ$). Mais, dans bien des cas, un indice géomagnétique élevé accompagne pourtant une raie 5577 Å faible. La croissance rapide de l'intensité *moyenne* de la raie ne commence à se manifester qu'à partir de $K_p = 5$ à Rapid City, de $K_p = 4$ à Fritz Peak, tandis qu'elle débute pour $K_p > 1$ à College (Alaska, lat. géom. $+65^\circ$).

A Invercargill (Nouvelle Zélande, lat. géom. -51°), B. P. Sandford (84), opérant par spectrophotométrie photographique trouve que 5577 et 6300 Å augmentent de la même manière avec K_p , qu'il y ait aurore ou non. Les raies sont plus fortes vers le sud que vers le nord. (A la même station, M. Gadsden (85) constate que la fréquence des aurores, photographiées avec un appareil couvrant tout le ciel, montre une corrélation plus marquée avec l'indice géomagnétique *local* qu'avec l'indice planétaire).

Raie [O I] 5577 Å et bande N_2^+3914 Å.

Pendant la grande aurore des 1-2 mars 1957 (qui fut aussi visible en Haute-Provence) M. H. Rees a mesuré simultanément, à Fritz Peak, les intensités de [O I] 6300, [O I] 5577 et H α .

N_2^+ 3914, mais les résultats publiés actuellement ne concernent que ces deux dernières radiations. Son photomètre décrivait le plan méridien, alternativement du nord au sud et du sud au nord.

Dans l'aurore non éclairée par le Soleil, 5577 et 3914 Å montrent une marche rigoureusement parallèle, bien que la forme de l'aurore ait beaucoup changé (86). Le rapport des intensités 3914/5577 (corrigées de l'absorption et de la diffusion atmosphérique et ramenées au zénith) est resté *tout à fait constant* et voisin de 0.5 quand les intensités variaient elles mêmes de 1 à près de 10^3 . C'est là un fait d'une grande importance pour l'étude des mécanismes d'excitation.

Le rapport 3914/5577 commence à augmenter quand l'aurore est éclairée par le Soleil, car la bande est alors renforcée (87). Admettant qu'abstraction faite de ce phénomène le rapport 3914/5577 conserverait la valeur 0.5, Rees évalue l'émission supplémentaire de 3914 Å dans l'atmosphère éclairée et, dans l'hypothèse de l'excitation par résonance optique, il calcule la densité des ions N_2^+ à chaque altitude (8400 ions/cm³ à 200 km, 4000 à 300 km, 446 à 600 km). Ces densités très supérieures à celles qu'on déduit des observations crépusculaires, montrent que, pendant l'aurore, un flux de particule ionise les molécules de la haute atmosphère.

Observations spectroscopiques

Les observations spectroscopiques sont seules capables de renseigner sur les températures de rotation et de vibration des bandes moléculaires et sur les nombreuses radiations atomiques qui accompagnent celles-ci dans les aurores de haute altitude.

L. Wallace (88) a photographié le spectre de la grande aurore du 11 février 1958, dans sa première phase, à Yerkes Observatory. Une pose de $3^h 30^m$ lui a permis d'étudier le spectre de 3710 à 4420 Å, dans le 3e ordre d'un réseau (22 Å/mm).

Pour représenter les contours des bandes (0,0) et (0,1) de N_2^+ il paraît nécessaire de faire intervenir deux températures de rotation différentes: $T_r \approx 225^\circ$ près de la tête, $T_r \approx 575^\circ$ pour les niveaux de rotation élevés ($K > 10$). Le fait résulte probablement de la croissance de la température en fonction de l'altitude (qui semble avoir atteint 800 km). Moins bien déterminées en raison de la superposition de bandes du 2e système positif de Ne, les bandes de Vegard-Kaplan (2,12) et (1,13) conduisent à des valeurs de T_r de l'ordre de 800 à 3000 °K.

K. C. Clark et A. E. Belon (89) ont observé la même aurore à College (Alaska) avec un spectrographe peu dispersif (400 Å/mm), qui leur permet de prendre 18 clichés pendant l'aurore, de 3800 à 6700 Å. Ils trouvent aussi pour N_2^+ une température de rotation élevée: $T_r \approx 1500^\circ\text{K}$ dans l'aurore non éclairée par le Soleil, $T_r \approx 2000^\circ\text{K}$ dans l'aurore éclairée. Les températures de vibration, obtenues à partir de la séquence $\Delta v = 2(4709 \text{ \AA})$, sont respectivement, dans les deux cas précédents, $T_v \approx 1500^\circ\text{K}$ et 2400°K .

Wallace identifie un grand nombre de raies atomiques permises: H γ , des raies de O I, N I, O II et surtout N II. Parmi les dernières figurent des transitions de forte excitation 3d-5f (26.1 eV). Le doublet nébulaire [O II] 3726-3729 Å est, pour la première fois, résolu et sûrement identifié ([O II] 3719-3730 Å déjà caractérisé en 1957 par Omholt et par M. Dufay, a été aussi enregistré à Yerkes pendant l'aurore du 5 décembre 1958).

Dans un domaine spectral plus large, Belon et Clark (90) trouvent aussi beaucoup de raies permises de O I, O II et N II. Parmi les raies interdites [N I] 5199 Å était très intense. [N II] 5755 Å, identifiée déjà par Petrie (1952) et par M. Dufay (1957) était aussi présente. Enfin, [N II] 6583 Å est reconnue pour la première fois; elle était intense dans l'aurore éclairée par le Soleil.

Dans une aurore éclairée par le Soleil, les observateurs russes ont découvert la raie 10830 Å

de He I. Ils ont aussi constaté, au moyen d'un interféromètre de Pérot et Fabry, un élargissement de la raie [O I] 6300 Å dans des aurores de haute altitude. La largeur maximum observée correspond à la température 3500 °K. (Voir rapport Krassovsky-Galperin).

MÉCANISME DES ÉMISSIONS

Luminescence nocturne

A. Dalgarno (91) a publié en 1958 une mise au point très documentée sur les mécanismes d'émission dans la luminescence nocturne. A la même époque V. I. Krassovsky (92) a exposé ses vues personnelles à ce sujet.

[O I] 5577.

Le mécanisme de base envisagé généralement pour l'excitation de la raie verte demeure la réaction de chocs triples de Chapman:



suivant laquelle l'intensité de l'émission par unité de volume serait proportionnelle au cube de la densité locale $n(\text{O})$ des atomes d'oxygène. La réaction doit être particulièrement efficace à l'altitude où $n(\text{O})$ est maximum, soit, d'après les plus récents calculs de M. Nicolet (93) (qui tiennent compte du transport vertical des molécules et des atomes d'oxygène) entre 90 et 105 km, en excellent accord avec les déterminations directes de l'altitude.

E. Tandberg-Hanssen et F. E. Roach (94) suggèrent que la théorie, jusqu'ici purement statique, devrait être modifiée pour rendre compte des variations de 5577 Å pendant la nuit. Ils font intervenir les mouvements des 'cellules' (37) qui leur semblent capables de modifier les réactions photochimiques et peut-être de provoquer une excitation directe, si le champ électrique communique aux électrons une énergie suffisante pour porter les atomes O au niveau 1S . Partant de cette idée, J. W. McCaulley et W. S. Hough (95) ont comparé en détail pendant trois nuits non consécutives, les intensités Q de 5577 au zénith de Fritz Peak aux résultats des sondages ionosphériques verticaux effectués à 12 km de là (Sunset, Colorado). On déterminait, de quart d'heure en quart d'heure, la hauteur virtuelle h' de la région E, la fréquence critique f_0 et la fréquence f_b pour laquelle la couche commence à devenir transparente. Il semble que Q et h' tendent à varier en sens inverse, quand on considère les résultats d'une même nuit. Mais la relation la plus nette concerne la différence Δf entre f_0 et f_b (dont la signification physique n' est d'ailleurs pas claire): tant que Q ne dépasse pas 400 R Δf est pratiquement nul. Quand Q dépasse ce seuil, Δf augmente rapidement pour se fixer autour de 5 mégacycles lorsque Q atteint 700 R. Les auteurs concluent que les observations actuelles sont encore incapables de trancher entre la théorie purement photochimique et celle qui fait intervenir l'excitation par les mouvements des masses électrisées.

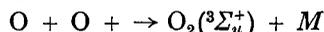
La suggestion d'une origine commune pour la raie 5577 Å dans le ciel nocturne et dans l'aurore, présentée par Roach, McCaulley et Marovich (34) reposait en partie sur la dissymétrie des couches de fréquence de l'intensité Q de la raie verte, trouvée à toutes les latitudes. Barbier (35) observe que, dans la théorie de Chapman, l'intensité Q étant proportionnelle au cube de la densité maximum $n_M(\text{O})$ des atomes d'oxygène, c'est l'histogramme des valeurs de $Q^{1/3}$ qui aurait une signification physique. Or, ces histogrammes sont symétriques et montrent une dispersion à peu près indépendante de la période d'observation considérée, ce qui n'est pas le cas des histogrammes de Q .

Des communications présentées à la réunion géophysique de Copenhague (1960) tendent à prouver cependant que l'efficacité du mécanisme de Chapman a été jusqu'ici très surestimée. Les expériences récentes de J. Kaplan, C. A. Barth et W. Shade (96) semblent pouvoir être

invoquées en faveur de cette opinion. Dans la postluminescence de l'azote actif, l'addition d'oxyde nitrique fait apparaître la raie 5577 Å, avec les systèmes de bandes β , γ et δ de NO. Son intensité varie avec la concentration des molécules NO et des atomes O et N. Quand la concentration de NO est suffisante pour éteindre les bandes $N_2(1P)$ et $N_2(2P)$, seul l'oxygène doit subsister à l'état atomique. Or, dans ces conditions, en apparence favorables au processus de Chapman, la raie verte n'apparaît pas.

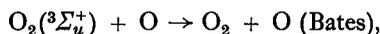
O_2^- Bandes de Herzberg.

($A^3\Sigma_u^+ - X^3\Sigma_g^-$). Ces bandes appartiennent au même groupe covariant que la raie 5577 Å (40) et sont probablement émises à la même altitude (25). Un mécanisme de chocs triples, analogue à celui de Chapman est par suite tenu pour vraisemblable:



M représente une molécule ou un atome quelconque.

Il faut aussi tenir compte de la possibilité d'une désexcitation non radiative des molécules: $^3\Sigma_u^+$:



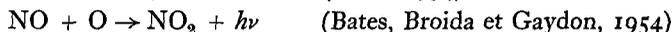
la molécule O_2 se trouvant, après le choc, à un niveau plus bas que $^3\Sigma_u^+$.

Partant de ces réactions, Barbier (40) montre que les nombres de photons $Q(O_2)$ et $Q(5577)$ émis respectivement dans les bandes de Herzberg et dans la raie verte doivent varier de manière que la pente de la droite représentant $\log Q(O_2)$ en fonction de $\log Q(5577)$ soit comprise entre 1/3 et 2/3. Les observations ont donné la pente 0.53 qui se trouve entre les limites prévues.

On sait que, dans la luminescence nocturne, les bandes de Herzberg sont excitées à des niveaux de vibration plus élevés qu'au laboratoire (13). Une interprétation plausible de ce comportement est suggérée par des expériences de Kaplan Barth et Shade (96). Ces physiciens excitent les bandes ultra-violettes, soit dans la postluminescence de l'oxygène presque pur, soit dans celle de l'azote additionné de 4% d'oxygène. Comme, à pression égale, la distribution des intensités diffère beaucoup d'un cas à l'autre, il est probable que les chocs contre les molécules O_2 ou N_2 n'agissent pas de la même manière. La pression 100 fois plus faible dans la haute atmosphère que dans ces expériences et la température plus basse de 100° favoriseraient la conservation des niveaux de vibration élevés.

Spectre continu. Le spectre continu atmosphérique varie comme la raie verte et les bandes de Herzberg (40). Il semble aussi émis vers l'altitude 100 km (25).

Des deux mécanismes proposés pour expliquer son émission



le premier permet de rendre compte de la corrélation non linéaire trouvée entre les intensités de la raie 5577 Å et du continuum. Il conduit en effet, pour le spectre continu, à une intensité proportionnelle à $n^2(O)$, soit à la puissance 2/3 de l'intensité de 5577 Å. Cette valeur s'accorde fort bien avec la puissance 0.71 résultant des observations de Barbier (40).

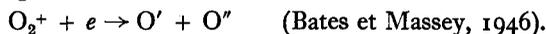
Na (D) et OH.

Aucun argument décisif n'a été avancé depuis 1958 en faveur de l'un ou l'autre des mécanismes invoqués pour l'excitation des raies D (91). Pour O H on se trouve toujours en présence de la théorie de Bates et Nicolet (et de Herzberg) généralement admise et de celle, très différente, de Krassovsky (92). Entre les intensités des raies D et des bandes de OH,

émises sensiblement à la même altitude, la corrélation est très étroite et probablement linéaire (40).

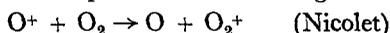
O I. 6300–6364 Å.

Toutes les recherches récentes confirment le rôle important joué par la recombinaison dissociative des ions O_2^+ :



Les atomes excités reviennent à l'état normal en émettant les raies interdites spécialement les raies rouges (Seaton).

Les ions O_2^+ peuvent se produire par transfert de charge



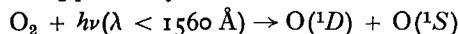
Compte tenu de la désactivation par chocs, étudiée par M. J. Seaton (97), J. W. Chamberlain (98, 99) attribue entièrement à ce processus l'émission nocturne et crépusculaire. Barbier (39) pense au contraire qu'il ne s'applique strictement qu'à la phase d'intensité décroissante de la première partie de la nuit. Admettant que l'intensité émise dans une couche uniforme, non trop épaisse, d'altitude h , ne dépend que du temps local et de l'altitude, il détermine h à partir du décalage dans le temps des courbes décroissantes observées à l'ouest et à l'est. Le décalage, voisin de 80 minutes, donne $h = 275$ km, valeur qui correspond bien à l'altitude de la région F_2 . Barbier précise la relation trouvée par lui précédemment entre l'intensité de 6300 Å et la fréquence critique de F_2 (rapport 1958). La hauteur d'échelle trouvée $H = 80$ km diffère de la valeur prévue pour O_2 par Nicolet (38 km).

La phase croissante de la fin de la nuit relèverait d'un mécanisme tout différent: probablement un bombardement par des particules électrisées provenant du Soleil, de l'espace interplanétaire ou des régions éclairées de l'atmosphère.

Mécanismes des émissions crépusculaires

6300–6364 Å.

Chamberlain (100) a publié en 1958 une mise au point relative aux phénomènes crépusculaires. Dans le cas des raies rouges, il ne croit pas à l'existence d'un phénomène résultant de l'action directe du rayonnement solaire. La résonance optique est certainement négligeable et la dissociation des molécules O_2 par le rayonnement solaire dans la région de Schieman-Ring



lui paraît aussi inefficace. La diminution d'intensité observée dès le crépuscule résulterait donc déjà de la recombinaison dissociative des ions O_2^+ (98). Mais les mesures photoélectriques de Megill (64) ne sont guère en accord avec cette interprétation.

On a déjà indiqué comment Barbier était parvenu à mettre en évidence le phénomène crépusculaire proprement dit (39). La dissociation photochimique de O_2 donnerait bien une émission de l'ordre de grandeur prévu. Dans ce cas la hauteur de la 'couche-écran' est environ 150 km et Barbier tire de ses observations l'altitude moyenne de l'émission $h = 238$ km et la hauteur d'échelle $H = 70$ km (valeur peu différente de celle trouvée pendant la première partie de la nuit).

Robley (47) attribue aussi le phénomène matinal (en été) à la dissociation photochimique de O_2 . Il cherche à interpréter les crépuscules du soir par superposition des deux mécanismes (dissociation photochimique de O_2 et recombinaison dissociative de O_2^+ .) La hauteur d'échelle $H = 75$ km convient pour représenter les crépuscules d'hiver, mais la valeur $H = 38$ km conviendrait mieux en été. L'auteur suppose que la variation de H pourrait être liée au transport vertical des molécules O_2 .

Résonance optique et fluorescence. La résonance optique est certainement responsable de

l'émission crépusculaire des raies du sodium, du lithium et du calcium ionisé. Elle rend aussi bien compte de l'émission des bandes de N_2^+ (Bates). Mais il faut expliquer l'ionisation préalable des molécules d'azote.

Le problème a été traité par J. W. Chamberlain et C. Sagan (101). L'ionisation de la région E par le rayonnement ultra-violet ou X du Soleil peut être écartée en raison de la symétrie approximative des phénomènes du matin et du soir établie par Swings et Nicolet. Si l'ionisation est produite dans la région F, les raies d'émission solaires He II 304 Å et He I 584 Å seraient les plus efficaces. Malheureusement la mesure de leur intensité à bord des fusées a donné des résultats fort discordants. Il est peut-être plus vraisemblable d'imaginer que des particules solaires bombardent la région E (électrons et surtout protons). On expliquerait ainsi la relation trouvée par M. Dufay entre l'intensité des bandes de N_2^+ et l'activité magnétique; l'altitude 'vraie' de l'émission différerait peu dans ce cas de l'altitude 'apparente' mesurée par M. Dufay.

La bande (0,1) du système ${}^1\Delta_g - {}^3\Sigma_g^-$ de O_2 ($\lambda = 1.58\mu$), découverte par Vallance Jones et Harrison au crépuscule (67) est très probablement émise par fluorescence. Les molécules d'oxygène à l'état normal ${}^3\Sigma_g^-$ sont portées au niveau métastable ${}^1\Delta_g$ par absorption du rayonnement solaire dans la bande (0,0) du même système (à 1.27μ). Ce mécanisme rend compte quantitativement de l'intensité de la bande 1.58μ et de sa décroissance.

J. C. Brandt (102) a étudié la possibilité d'une autre fluorescence dans la haute atmosphère. La raie de résonance 1025.766 Å de l'oxygène coïncide presque exactement avec la raie Lyman β (1025.717 Å). Par absorption de $L\beta$ les atomes d'oxygène à l'état normal peuvent donc être portés au niveau $2p^3({}^4S)3d\ {}^3D$. La seule transition observable dans la descente en cascade subséquente est le triplet 8446 Å. Ainsi d'explique l'exaltation de 8446 Å dans les novae (J. Dufay, M. Bloch, Ch. Bertaud et M. Dufay, 1959) et dans certaines nébuleuses planétaires (Y. et H. Andrillat, 1959).

Brandt a calculé l'intensité du triplet 8446 Å émis dans la haute atmosphère sous l'action de la raie $L\beta$ solaire. Très fort pendant le jour (≈ 1000 R), il doit être trop faible pour apparaître au crépuscule (≈ 1 R). Son observation pendant le jour à bord des fusées, aux altitudes supérieures à 100 km, permettrait d'étudier directement la distribution verticale de l'oxygène atomique dans l'atmosphère supérieure.

[O I] 5577 Å.

Pour interpréter le renforcement crépusculaire de la raie verte, J. et M. Dufay (1947) avaient envisagé l'absorption du rayonnement solaire à 2972 Å (raie ${}^3P_1 - {}^1S$), suivie des émissions 5577 (${}^1D - {}^1S$) et 6364 (${}^3P_1 - {}^1D$). Megill (64) pense que ce processus de fluorescence ne suffit pas à rendre compte de l'émission plus forte qu'il observe. On peut, dans ce cas encore, songer à un bombardement par des particules électrisées, qui permettrait de comprendre l'irrégularité probable du phénomène.

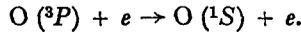
Emissions aurorales

L'existence d'un rapport constant entre les intensités de la raie 5577 Å et de la bande N_2^+ 3914 Å, signalée par Vegard et Kvitte (1945), rapport indépendant de la forme des aurores (Omholt 1957), a été définitivement établie par Rees (86). W. B. Murcray (103) a d'ailleurs constaté à nouveau le parallélisme des variations de 5577 Å et 3914 Å à College (Alaska).

Rees conclut que la constance du rapport exige que les excitations des deux radiations soient simultanées et proportionnelles ou bien qu'elles résultent d'un processus en cascade. La première hypothèse ne semble conduire à aucune solution vraisemblable. Le mécanisme primaire produisant les bandes de N_2^+ est en effet de la forme



où X représente une particule apportant de l'énergie, sans doute un proton. D'autre part la raie verte est excitée par choc électronique



Pour qu'il y ait proportionnalité entre les intensités de 5577 Å et de 3914 Å, il est nécessaire que les électrons excitant les atomes d'oxygène soient précisément les électrons secondaires provenant de l'ionisation des molécule N₂.

Il n'est pas actuellement possible de prévoir numériquement quel serait alors le rapport des intensités 5577/3914, car on ignore notamment la section de choc de N₂ dans l'ionisation par les protons. Mais un calcul d'ordre de grandeur montre qu'il y a probablement bien assez d'électrons secondaires pour exciter la raie verte.

Aurores artificielles. Les explosions à haute altitude sont capables de produire des aurores artificielles, accompagnées d'orages magnétiques et ionosphériques, qui présentent un grand intérêt pour l'étude de la haute atmosphère.

J. E. Blamont (104) a réussi récemment à exciter localement une vive luminescence de l'atmosphère, en provoquant une explosion de faible puissance, au moyen d'une fusée lancée en Algérie. Les résultats des observations n'ont pas encore été publiés. Déjà en 1958, après les essais nucléaires réalisés en altitude à l'île Johnston (Pacifique Nord, latitude géomagnétique + 14°·3) le 1^{er} et le 12 août, deux types de phénomènes lumineux se sont manifestés (105, 106):

1° — une demi-heure environ après l'explosion, un nuage rouge, provenant de la direction de l'île Johnston, a été vu à Maui (Hawaï);

2° — aussitôt après l'explosion, une aurore de courte durée (14 minutes le 1^{er} août, 17 minutes le 12) est apparue à Apia (Samoa), tout près du point magnétique conjugué de l'île Johnston. Elle était plus brillante le 1^{er} août, où l'explosion nucléaire a été provoquée à 60 km environ d'altitude, que le 12 août, où l'explosion s'est produite vers 30 km seulement.

J. M. Malville (106) a étudié particulièrement les phénomènes observés à Apia le 1^{er} août. On a vu pendant 6 minutes des rayons d'abord violets, enveloppés de rouge, dont la couleur est ensuite passée au vert. Samadi Matsushita (105) évalue leur altitude de l'ordre de 70 à 90 km. Puis une lueur rouge a persisté encore pendant 8 minutes. En même temps un arc d'un rouge profond était visible vers le nord d'Apia, à une altitude certainement beaucoup plus grande (≈ 400 à 500 km).

Malville estime de l'ordre de 0·5 MeV au moins l'énergie des rayons β provenant de la désintégration des radioéléments produits par la bombe A, qui servait de détonateur à la bombe H. Cette grande énergie explique la pénétration des électrons à une altitude relativement basse, inférieure à celle de la plupart des aurores naturelles. La couleur violette initiale des rayons doit être attribuée à la prépondérance des bandes de N₂⁺. Celle-ci résulte du fait qu'au dessous de 100 km les atomes d'oxygène sont encore peu abondants et que la désexcitation par chocs est importante.

J. DUFAY
Président de la Commission

BIBLIOGRAPHIE

1. Dufay, M. *C. R. Acad. Sci., Paris* 248, 2505, 1959.
2. Kvitte, G. F. *J. atmos. terr. Phys.* 16, 252, 1959.
3. Kvitte, G. F. *Geofys. Publ. Oslo* 20, No. 19, 1959.
4. Blackwell, D. E., Ingham, M. F. and Rundle, H. N. *Ap. J.* 131, 15, 1960.
5. Blackwell, D. E., Ingham, M. F. and Rundle, H. N. *Ann. Géophys.* 16, 152, 1960.

6. Dufay, M. and Dufay, J. *C. R. Acad. Sci., Paris* **250**, 4191, 1960.
7. Moroz, V. I. *Astr. Zh., Moscow* **37**, 183, 1960.
8. Noxon, J. F., Harrison, A. W. and Vallance Jones, A. *J. atmos. terr. Phys.* **16**, 246, 1959.
9. Connes, J. and Gush, H. *J. Phys. Radium* **20**, 915, 1959.
10. Connes, J. and Gush, H. *Ibid.* **21**, 646, 1960.
11. Richardson, K. H. and Gush, H. *Frequencies of OH Bands*. University Saskatchewan, 1960.
12. Negrelisvilli, T. G. and Hvostikov, I. A. *Astr. Circ., U.S.S.R.* No. 197, 6, 1958.
13. Chamberlain, J. W. *Ap. J.* **128**, 713, 1958.
14. Dufay, M. *Ann. Géophys.* **15**, 134, 1959.
15. Fedorova, N. I. *Astr. Zh., Moscow* **34**, 247, 1957.
16. Krassovsky, V. I., Galperin, G. I., Mironov, A. V., Prokudina, V. S., Shefov, N. N., Fedorova, N. I. and Bagariazki, B. A. *Ann. Géophys.* **14**, 356, 1958.
17. Chamberlain, J. W. and Smith, C. A. *J. geophys. Res.* **64**, 611, 1959.
18. Onaka, R. and Nakamura, H. *Sci. Light*, Tokyo **6**, 95, 1957.
19. Gates, D. M. and Jones, E. National Bureau of Standards, Boulder, Colorado.
20. Wallace, L. *J. geophys. Res.* **65**, 921, 1960.
21. McPherson, D. M. and Vallance Jones, A. *J. atmos. terr. Phys.* **17**, 308, 1960.
22. Perrin, M. *C. R. Acad. Sci., Paris* **250**, 2406, 1960.
23. Roach, F. E., Megill, L. R., Rees, H. R. and Marovich, E. *J. atmos. terr. Phys.* **12**, 171, 1958.
24. Barbier, D. and Glaume, J. *Ann. Géophys.* **13**, 317, 1957.
25. Tousey, R. *Ibid.* **14**, 186, 1958.
26. Kupperian, J. E., Byram, E., Chubb, T. A. and Friedman, H. *Ibid.* **14**, 329, 1958.
27. Kupperian, J. E., Byram, E., Chubb, T. A. and Friedman, H. *Planet-Space Sci.* **1**, 7, 1959.
28. Shklosky, I. S. *Ibid.* **1**, 63, 1959.
29. Brandt, J. C. and Chamberlain, J. W. *Ap. J.* **130**, 670, 1959.
30. Link, F. *I. G. Y. and Cooperation in Czechoslovakia*, Praga, 95, 1960.
31. Roach, F. E. and Rees, M. H. *J. geophys. Res.* **65**, 1489, 1960.
32. McCaulley, J. W., Marovich, E. and Roach, F. E. *Nat. Bur. Stand. Boulder Lab., Report No. 6012*.
33. Roach, F. E., McCaulley, J. W., Marovich, E. and Purdy, C. M. *J. geophys. Res.* **65**, 1503, 1960.
34. Roach, F. E., McCaulley, J. W. and Marovich, E. *J. Res. nat. Bur. Stand.* **63D**, 15, 1959.
35. Barbier, D. *Ann. Géophys.* **16**, 143, 1960.
36. Roach, F. E., Tandberg-Hanssen, E. and Megill, L. R. *J. atmos. terr. Phys.* **13**, 113, 1958.
37. Roach, F. E., Tandberg-Hanssen, E. and Megill, L. R. *Ibid.* **13**, 122, 1958.
38. Barbier, D. and Glaume, J. *Ann. Géophys.* **15**, 266, 1959.
39. Barbier, D. *Ibid.* **15**, 179, 1959.
40. Barbier, D. and Glaume, J. *Ibid.* **16**, 56, 1960.
41. Barbier, D. *Ibid.* **15**, 412, 1959.
42. Barbier, D. and Glaume, J. *C. R. Acad. Sci., Paris* **250**, 2043, 1960.
43. Barbier, D. and Glaume, J. *Ann. Géophys.* **16**, 319, 1960.
44. Delsemme, A. and Delsemme, D. *C. R. Acad. Sci., Paris* **250**, 383, 1960.
45. Chiplonkar, M. W. and Kulkarni, P. V. *J. geophys. Res.* **64**, 1641, 1959.
46. Huruhata, M., Nakamura, T., Tanabe, H. and Tohmatsu, T. *Rep. ionos. space research in Japan* **13**, 283, 1959.
47. Robley, R. *Ann. Géophys.* **16**, 355, 1960.
48. Blamont, J. E., Donahue, T. M. and Stull, V. R. *Ibid.* **14**, 253, 1958.
49. Blamont, J. E., Donahue, T. M. and Weber, W. *Ibid.* **14**, 282, 1958.
50. Blamont, J. E. *Ibid.* (sous presse).
51. Blamont, J. E. and Donahue, T. *C. R. Acad. Sci., Paris* **251**, 2750, 1960.
52. Doan, N. H. *Ibid.* **249**, 739, 1959.

53. Doan, N. H. *Ibid.* (sous presse).
54. Donahue, T. M., and Stull, V. R. *Ann. Géophys.* **15**, 481, 1959.
55. Chamberlain, J. M., Hunten, D. M. and Mack, J. E. *J. atmos. terr. Phys.* **12**, 153, 1958.
56. Brandt, J. C. and Chamberlain, J. W. *Ibid.* **13**, 90, 1958.
57. Brandt, J. C. *Ibid.* **13**, 100, 1958.
58. Rundle, H. N., Hunten, D. M. and Chamberlain, J. W. *Ibid.* **17**, 205, 1959.
59. Hunten, D. M. *Ibid.* **17**, 295, 1960.
60. Barber, D. R. Communication privée.
61. Blamont, J. E. *C. R. Acad. Sci., Paris* **249**, 1248, 1959.
62. Blamont, J. E. *Ibid.* **250**, 567, 1960.
63. Blamont, J. E. Communication privée.
64. Megill, L. R. *J. atmos. terr. Phys.* **17**, 276, 1960.
65. Weill, G. *C. R. Acad. Sci., Paris* **249**, 2092, 1959.
66. Weill, G. *Ann. Géophys.* **16**, 223, 1960.
67. Vallance Jones, A. *Ibid.* **14**, 179, 1958; Vallance Jones, A. and Harrison H. R. *J. geophys. Res.*
68. Delannoy, J. and Weill, G. *C. R. Acad. Sci., Paris* **247**, 806, 1958.
69. Gadsden, M. and Salmon, K. *Nature, Lond.* **182**, 1598, 1958.
70. Barbier, D., Delannoy, J. and Weill, G. *C. R. Acad. Sci., Paris* **247**, 886, 1958.
71. Delannoy, J. *Ann. Géophys.* **16**, 236, 1960.
72. *The Times*, 27 décembre 1958.
73. Barber, D. R. *Nature, Lond.* **183**, 384, 1959.
74. Lytle, E. A. and Hunten, D. M. *J. atmos. terr. Phys.* **16**, 236, 1959.
75. Barbier, D. *Ann. Géophys.* **14**, 334, 1958.
76. Roach, F. E. and Marovich, E. *J. Res. nat. Bur. Stand.* **63D**, 297, 1959.
77. Roach, F. E. and Marovich, E. *Ibid.* **64D**, 205, 1960.
78. O'Brien, B. J., Van Allen, J. A., Roach, F. E. and Gartlein, G. W. *J. geophys. Res.* (sous presse).
79. Roach, F. E., Moore, J. H., Cronin, H. and Silverman, S. *Ibid.* (sous presse).
80. Dufay, M. and Moreau, G. *Ann. Géophys.* **13**, 153, 1957.
81. Manring, E. R. and Pettit, H. B. *J. geophys. Res.* **63**, 39, 1958.
82. Roach, F. E., McCaulley, J. W. and Purdy, C. M. *J. Res. nat. Bur. Stand.* **63D**, 19, 1959.
83. Roach, F. E. *J. geophys. Res.* **65**, 1493, 1960.
84. Sandford, B. P. *Ann. Géophys.* **15**, 445, 1959.
85. Gadsden, M. *Ibid.* **16**, 88, 1960.
86. Rees, M. H. *J. atmos. terr. Phys.* **14**, 325, 1959.
87. Rees, M. H. *Ibid.* **14**, 338, 1959.
88. Wallace, L. *Ibid.* **17**, 46, 1959.
89. Clark, K. C. and Belon, A. E. *Ibid.* **16**, 205, 1959.
90. Belon, A. E. and Clark, K. C. *Ibid.* **16**, 220, 1959.
91. Dalgarno, A. *Ann. Géophys.* **14**, 241, 1958.
92. Krassovsky, V. I. *Ibid.* **14**, 395, 1958.
93. Nicolet, M. *Ibid.* **15**, 1, 1959.
94. Tandberg-Hanssen, E. and Roach, F. E. *J. Res. nat. Bur. Stand.* **63D**, 319, 1959.
95. McCaulley, J. W. and Hough, W. S. *J. geophys. Res.* **64**, 2307, 1959.
96. Kaplan, J. Communication privée.
97. Seaton, M. J. *Ap. J.* **127**, 67, 1958.
98. Chamberlain, J. W. *Ibid.* **127**, 54, 1958.
99. Chamberlain, J. W. *J. atmos. terr. Phys.* **15**, 96, 1959.
100. Chamberlain, J. W. *Ann. Géophys.* **14**, 196, 1958.
101. Chamberlain, J. W. and Sagan, C. *Planet. Space Sci.* **2**, 157, 1960.
102. Brandt, J. C. *Ap. J.* **130**, 228, 1959.
103. Murcray, W. B. *J. geophys. Res.* **64**, 955, 1959.
104. Blamont, J. E. Communication privée.
105. Matsushita, S. *J. geophys. Res.* **64**, 1149, 1959.
106. Malville, J. M. *Ibid.* **64**, 2267, 1959.

APPENDIX—A BRIEF REPORT ON RESEARCH IN THE U.S.S.R.

(By V. I. Krassovsky and G. I. Galperin)

In the period between the last IAU meeting in 1958 and the end of 1960, research on airglow and aurorae was carried out within the broad programme of the IGY and IGC in the U.S.S.R. Detailed results are described in (1–51). Only the most interesting results will be indicated here.

Airglow emissions

1. At various points of the U.S.S.R. detailed observations on airglow were carried out especially on hydroxyl bands which, with the aid of image tubes, were studied up to 11000 Å. It is shown that: (a) at the Yakutsk station the hydroxyl intensity is correlated with its rotational temperature, if the latter exceeds 200–250°K; (b) at the Moscow station this dependence is not observed, while the band intensities are similar to those which correspond to temperatures lower than 250°K at Kakutsk; (c) at Abastumani hydroxyl intensity and rotational temperatures are correlated; (d) in contrast to the Moscow observations seasonal intensity variations with winter maximum are observed at Yakutsk and Abastumani; (e) there is a tendency for the hydroxyl rotational temperatures to increase with the rise of the latitude of observation; (f) relative intensities of bands with relatively high and low v' vary significantly with place, season and rotational temperatures (3, 7, 10, 11, 13, 16–29, 41).

2. A regular registration of the narrow airglow hydrogen H α line was achieved; its intensity amounts to tens of Rayleighs (3, 6, 10, 15, 24).

3. The following correlations between intensities of airglow emissions are established. Airglow intensities of H α , hydroxyl bands, Na 5890 Å and [O I] 6300 Å are correlated, with the exception of [O I] 6300 Å and hydroxyl which, at high hydroxyl intensities at Yakutsk, are not correlated.

[N I] 5200 Å emission is correlated with the [O I] 6300 Å emission (15, 23, 24).

4. The airglow emission continuum is definitely registered in the visible part of the spectrum with the intensity amounting to several R/Å. Two maxima in the red and blue regions are discovered; their relative intensities are not always constant (3, 11, 25, 26, 42).

Auroral emissions

1. With the aid of all-sky cameras and absolute electro-photometry it is established (5) that in most cases the main part of the emission energy flux of aurora does not come from bright distinct auroral forms of small angular dimensions (such as arcs, rays, draperies etc.), but is emitted by faint diffuse luminous surfaces of large areas in the sky which surround bright auroral forms.

2. A regular registration of auroral Doppler-shifted hydrogen emission was achieved at Loparskaya (1, 34, 35, 39, 46). No significant variations were found in the range of ~ 30 Å in the line profile. The intensity maximum is usually shifted to the violet for 6–9 Å in H α . The highest shift in H α emission amounts to ≈ 40 Å. Hydrogen emission is usually observed on large portions of the sky and it does not show direct connection with bright auroral forms (35, 39); though this emission is usually observed as intense during geomagnetic disturbances, cases of its appearance in magnetically quiet conditions were registered. Doppler-shifted auroral hydrogen emission usually appears to be observable some hours before the commencement of the visible aurora. But cases were registered when the appearance of this emission did not lead to visible aurora. Simultaneous observations in the directions to the North, to the Zenith and to the South showed that usually the region of H α luminosity in the sky: (a) moves

from the North to the South in the evening hours, (b) in most cases its night intensity is higher to the South from Loparskaya, and (c) moves back to the North in the morning hours (1, 39). Rapid intensity variations of auroral hydrogen emission during intervals of 5–15 minutes were registered (49). Balmer decrement of hydrogen emission was determined (46).

3. The comparison of a large number of auroral spectra obtained in high and low latitudes reveals that atomic emissions of nitrogen and oxygen strengthen in high latitude as well as in low latitude aurorae of type A while in high latitude aurorae of type B molecular bands of N_2 , O_2^+ strengthen (1, 35, 39).

4. During red high-altitude sunlit aurorae there was discovered the helium emission 10830 \AA (2, 27). According to N. N. Shefov (28) this emission is due to fluorescence in the solar radiation of the metastable state of helium 2^3S He I formed in the auroral space.

5. Absolute electromagnetic measurements in various forms of aurora show that relative intensities of the red and green oxygen lines are dependent of their intensity. The number of the red line quanta per one quantum of a green line in ray forms changes from 0.01 up to 10, pointing to the desactivation of state 1D (9).

6. Short-periodic variations of brightness in pulsating aurora were simultaneously registered in different light-filters. The average life times of 1S and 1D oxygen levels do not differ markedly from the theoretical ones (5, 47). The connection was discovered between pulsations and short-periodic fluctuations of the earth currents.

7. Careful electro-photometric measurements of polarization of auroral emissions with the help of a permanently rotating polaroid made it possible to establish slight polarization of emissions $4278 \text{ \AA } N_2^+$ (+4%), $4861 \text{ \AA } H\beta+$ continuum (+3%), anisotropy being directed along magnetic force lines. As was expected polarization of 5577 \AA is equal to zero.

8. During red high-altitude aurorae with the help of Fabry-Perot interferometer, an essential increase of the width of the red oxygen line 6300 \AA with the growth of its intensity was discovered (4, 43, 44). The maximum observed width of this emission corresponds to temperatures up to $3500 \text{ }^\circ\text{K}$. Besides that, the interferometric determinations of the widths of other auroral and airglow emissions at different latitudes, including the registration of the width of $5200 \text{ \AA } [N \text{ I}]$ and $8446 \text{ \AA } [O \text{ I}]$, were made (4, 42, 43, 44).

REFERENCES

1. Galperin, G. I. *Spectral, Electro-photometric and Radar Researches of aurora and airglow*, IGY series, problem IV, Acad. Sci. U.S.S.R., Moscow, No. 1, 7, 1959.
2. Mironov, A. V., Prokudina, V. S. and Shefov, N. N. *Ibid.*, No. 1, 20, 1959.
3. Shefov, N. N. *Ibid.*, No. 1, 25, 1959.
4. Mularchik, T. M. *Ibid.*, No. 1, 41, 1959.
5. Jorjio, N. V. *Ibid.*, No. 1, 30, 1959.
6. Prokudina, V. S. *Ibid.*, No. 1, 43, 1959.
7. Shuiskaya, F. K. *Ibid.*, No. 1, 45, 1959.
8. Potapov, B. P., Rappoport, Z. and Barsuk, T. B. *Ibid.*, Nos. 2–3, 42, 1960.
9. Jorjio, N. V. *Ibid.*, Nos. 2–3, 45, 1960.
10. Fishkova, L. M. and Markova, G. V. *Ibid.*, Nos. 2–3, 49, 1960.
11. Shefov, N. N. *Ibid.*, Nos. 2–3, 57, 1960.
12. Karyagina, Z. V. *Ibid.*, Nos. 2–3, 60, 1960.
13. Gynullina, R. Ch. and Karyagina, Z. V. *Ibid.*, Nos. 2–3, 63, 1960.
14. Mironov, A. V. *Ibid.*, Nos. 2–3, 66, 1960.
15. Prokudina, V. S. *Ibid.*, Nos. 2–3, 68, 1960.
16. Sukhoivanenko, P. I. *Ibid.*, Nos. 2–3, 71, 1960.
17. Yarin, V. I. *Ibid.*, Nos. 2–3, 72, 1960.
18. Shefov, N. N. *Ibid.*, No. 4, (in press).

19. Yarin, V. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
20. Shefov, N. N. *Ibid.*, No. 4, (in press).
21. Shefov, N. N. and Yarin, V. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
22. Krassovsky, V. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
23. Prokudina, V. S. *Ibid.*, No. 4, (in press).
24. Yarin, V. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
25. Yarin, V. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
26. Shefov, N. N. *Ibid.*, No. 4, (in press).
27. Fedorova, N. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
28. Shefov, N. N. *Ibid.*, No. 4, (in press).
29. Shuiskaya, F. K. *Ibid.*, No. 4, (in press).
30. Yarin, V. I. *Ibid.*, No. 4, (in press).
31. Krassovsky, V. I. *Priroda* 5, 55, 1957.
32. Krassovsky, V. I. *Priroda* 12, 87, 1957.
33. Karyagina, Z. V. *Astr. Circ. U.S.S.R.*, 186, 1957.
34. Galperin, G. I. *Astr. J., Moscow* 35, 3, 382, 1958.
35. Krassovsky, V. I., and Galperin, G. I. *et al.* *Ann. Géophys.* 14, No. 3, 1958.
36. Fishkova, L. M. and Markova, G. V. *Astr. Circ. U.S.S.R.*, No. 191, 1958.
37. Fishkova, L. M. and Markova, G. V. *Astr. Circ. U.S.S.R.*, No. 196, 1958.
38. Fishkova, L. M. and Markova, G. V. *Astr. Circ. U.S.S.R.*, No. 208, 14-17, 1959.
39. Galperin, G. I. *Planet. Space Sci.*, 1, 57-62, 1959.
40. Bolunova, A. D. and Morozov, V. M. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys. No. 2, 321, 1959.
41. Prokudina, V. S. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys., No. 4, 629-631, 1959.
42. Mularchik, T. M. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys., No. 12, 1902, 1959.
43. Mularchik, T. M. *Doklady Acad. Nauk S.S.S.R.* 160, 303, 1960.
44. Mularchik, T. M. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys., No. 3, 449, 1960.
45. Shuiskaya, F. K. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys., No. 3, 1960.
46. Shuiskaya, F. K. *Astr. J., Moscow* 37, 1, 186, 1960.
47. Jorjio, N. V. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys., No. 5, 714, 1960.
48. Karyagina, Z. V. and Tulenkova, L. N. *Izvest. Astrophys. Inst., Acad. Nauk Kaz. S.S.R.* 9, 86-95, 1960.
49. Shuiskaya, F. K. and Trunov, V. G. *Izvest. Acad. Nauk S.S.S.R.*, ser. geophys. (in press).
50. Frishman, I. G. *Optika i Spectr.*, No. 3, 323-328, 1959.
51. Fishkova, L. M. and Markova, G. V. *Bull. Abastumani astrophys. Obs.*, No. 24, 1959.