

12. COMMISSION DE LA RADIATION ET DE LA STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE SOLAIRE

PRÉSIDENT: Dr R. Michard, Observatoire de Paris, Section d'Astrophysique, Meudon (Seine-et-Oise), France.

VICE-PRÉSIDENT: Dr M. N. Gnevyshev, Astronomical Observatory, Leningrad M-140, U.S.S.R.

COMITÉ D'ORGANISATION: R. G. Athay, M. G. J. Minnaert, Z. Suemoto.

MEMBRES: Allen, Babcock (H. D.), Bell, Billings, Blackwell, Blaha, Blamont, Böhm, Böhm-Vitense, Boisshot, Bray, Brück (H. A.), Bruzek, Chamberlain, Christiansen, de Jager, Delbouille, Edlén, Edmonds, Elste, Evans (J. W.), Friedman, Giovanelli, Godoli, Goldberg, Gossner, Houtgast, Hubenet, Jäger, Jefferies, Kawaguchi, Kiepenheuer, Kopecký, Laborde, Labs, Leighton, Locke, Loughhead, Lüst, Mathias, Mattig, Maxwell, Mergentaler, Migeotte, Mugglestone, Müller (E. A.), Müller (H.), Neven, Nicolet, Pecker (Ch. W.), Pecker (J.-C.), Peyturaux, Pierce, Redman, Righini, Schröter, Seaton, Severny, Simon (P.), Sitnik, Moore-Sitterly, Svestka, Swensson, Tandberg-Hanssen, ten Bruggencate†, Thomas (R. N.), Tousey, Treanor, Unsöld, von Klüber, Waldmeier, Warwick, Zirin, Zirker.

INTRODUCTION

Le présent rapport tente de décrire les progrès réalisés dans l'étude de l'atmosphère solaire 'normale' de 1961 à la fin de 1963. Il n'a pas la prétention d'être exhaustif et de signaler toutes les contributions au domaine de recherches intéressant la Commission. S'il y a des omissions sérieuses, elles pourront être réparées avant la publication dans les *Transactions*.

La distinction entre un Soleil normal, ou moyen, et le Soleil actif qui forme le domaine d'étude de la Commission 10 est parfois difficile à établir, surtout dans le cas de la couronne. Nous n'avons pas cherché à éliminer toute possibilité de redites, ce qui aurait nécessité des correspondances impraticables avec les Présidents de la Commission 10 et d'autres Commissions ayant des centres d'intérêt voisins du nôtre. Cependant nous avons renoncé à citer les recherches relatives aux phénomènes de l'activité solaire, taches et protubérances, même si elles concernent le spectre et la structure de ces objets: nous nous en excusons auprès des membres de la Commission qui nous ont signalé des travaux sur ces questions.

Nous remercions vivement tous les membres de la Commission qui ont bien voulu nous envoyer des informations sur leurs travaux ou ceux de leurs collègues, relatifs à des sujets intéressant la Commission. Grâce à leur concours, ce rapport peut être un peu plus qu'une ennuyeuse revue bibliographique et donner une impression plus vivante de l'actualité! Une aide particulièrement importante nous a été apportée par Gnevyshev et Krat (travaux effectués en U.R.S.S.), Suemoto (travaux japonais) et Houtgast (observations d'éclipses). Les rapports des Groupes de Travail de la Commission ont été établis par leurs présidents, Houtgast et Giovanelli.

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

Durant les récentes années un grand nombre de symposiums couvrant des sujets intéressant la Commission ont été organisés.

Colloque de Varenna, 1960, sur les phénomènes aérodynamiques dans les astres (1).
Symposium de Liège, 1960 (2).

Symposium UAI no. 16 sur la couronne, Cloudcroft, 1961 (3) ainsi que les Symposiums des Sciences Spatiales organisés par le COSPAR à Washington, 1962, et Varsovie, 1963 (4) (5).

Colloque d'Herstmonceux, 1962 (6).

Symposium UAI no. 22 sur les champs magnétiques dans les astres, Rottach-Eggern 1963.

Cependant l'événement le plus marquant a été le Symposium sur le Spectre Solaire organisé à Utrecht, 1963, en l'honneur de M. Minnaert. La plupart des problèmes de la physique solaire y ont été passés en revue au cours d'exposés introductifs dus aux meilleurs spécialistes. Les actes du Symposium dont on espère une publication rapide constitueront le meilleur tableau de l'astronomie du Soleil en 1963.

Notons enfin la parution en langue russe de l'ouvrage de C. de Jager, *Structure and Dynamics of the solar atmosphere*, révision et extension de son article du *Handbuch der Physik* de 1959.

CONSTANTE SOLAIRE. PHOTOMÉTRIE DU SPECTRE CONTINU SOLAIRE. POLARISATION

Il semble qu'aucun effort nouveau n'a été entrepris pour la mesure directe de la constante solaire. Le problème de variations éventuelles de la magnitude du Soleil a été étudié par Serkowski (1, 2) qui a analysé les observations photométriques d'Uranus et de Neptune entreprises en 1953 à l'Observatoire Lowell. Le même auteur (3) a soigneusement discuté les problèmes méthodologiques posés par ce procédé indirect de photométrie du Soleil.

Une nouvelle détermination très précise des magnitudes apparentes et indices de couleur du Soleil dans le système U, B, V a été effectuée par Gallouët (4) qui trouve

$$V = -26.70 \pm 0.01 \quad (B - V) = +0.68 \quad (U - B) = +0.15$$

On notera l'excellent accord de V avec le résultat de Stebbins et Kron, -26.73 ± 0.03 .

Labs et Neckel ont obtenu à la Station Scientifique du Jungfraujoch d'importantes séries d'observations photométriques absolues du centre du disque solaire, donnant l'intensité $I_{\lambda}(0)$ intégrée par bandes spectrales de 20 Å. Ces mesures couvrent le visible (5, 6) et l'infrarouge jusqu'à 12 480 Å (7, 7 bis), la source de comparaison étant une lampe à ruban de tungstène. En corrigeant les résultats de l'influence des raies de Fraunhofer grâce au catalogue de largeurs équivalentes de l'Observatoire d'Utrecht, on obtient une distribution d'énergie du continuum solaire en très bon accord avec les résultats classiques de Canavaggia et Chalonge, mais en désaccord marqué avec les résultats antérieurs de Labs (obtenus par comparaison du Soleil avec l'arc au carbone).

Peyturaux poursuit un programme de comparaison directe du Soleil au corps noir (8). Des résultats récents et préliminaires pour le visible sont intermédiaires entre les données publiées par Labs en 1957 et en 1962. Le problème d'une photométrie absolue précise du Soleil n'est donc pas encore résolu.

Houtgast nous communique: 'Direct photo-electric records of the solar spectrum between 4000 and 3000 Å were made in 1960 with the Snow telescope at Mount Wilson. The aim was to determine the intensities of "windows" between Fraunhofer lines relative to some "primary windows" where one can assume that the continuum is reached. The solar spectrum was compared with a calibrated tungsten band lamp at different altitudes to be able to correct for atmospheric absorption. According to preliminary results, many windows in the region lie on a smooth curve which must be the observed continuum of the Sun. Further the absolute intensity of this continuum varies no more than 20% between 3700 and 3100 Å.'

Dans l'étude de l'assombrissement centre-bord, les plus grands efforts ont porté sur la région cruciale de l'extrême bord du Soleil.

T. de Groot (9) a appliqué lors de plusieurs éclipses totales une variante améliorée de la méthode de Julius pour obtenir le profil du bord vers $\lambda 5465 \text{ \AA}$. La méthode d'Unsöld, dans laquelle on utilise le profil du bord lunaire observé durant une éclipse partielle pour corriger le profil du bord solaire obtenu simultanément, a été employée par Mattig et Schröter à Potsdam à une détermination précise du profil du bord pour le continuum à $\lambda 5893$ (19). Lors de l'éclipse de 1961, des observations similaires ont été obtenues au Pic du Midi pour plusieurs régions spectrales, mais les résultats définitifs ne sont pas encore disponibles.

Des photographies du bord de très haute qualité obtenues dans le cadre du 'Projet Stratoscope' ont été analysées à nouveau (10). Le profil instrumental du télescope a pu être déterminé sans ambiguïté excessive d'après une étude au laboratoire et d'après la répartition de la lumière dans l'image solaire elle-même à quelque distance du bord.

Les diverses méthodes de mesure du profil photométrique du bord solaire ont été discutées en détail par Mädlow (11). Le problème de la lumière 'diffusée' est évidemment très délicat (12). Böhm montre qu'il existe une limite fondamentale aux informations contenues dans les observations centre-bord (13).

Une grande différence de température entre les pôles et l'équateur du Soleil a été trouvée par Plaskett (14). Il a comparé photographiquement l'assombrissement centre-bord pour ces deux régions, et trouvé un écart atteignant 3% de l'intensité centrale pour $\cos \theta = 0.2$ et pour $\lambda 6260 \text{ \AA}$. Ces résultats n'ont pas été confirmés par des mesures photoélectriques d'autres auteurs (15, 16). Selon Michard, les pôles pourraient être plus chauds que l'équateur, mais la limite supérieure de cette différence est 10 à 15°. Les fluctuations thermiques locales de la photosphère étant énormément supérieures à cette limite, seules des observations très nombreuses peuvent mettre en évidence un éventuel écart systématique.

La polarisation du spectre continu solaire a été mesurée par Leroy (17) en fonction de la longueur d'onde et de la distance au centre du disque. Selon des expériences de Severny sur certains effets de polarisation instrumentale, et aussi selon de nouvelles mesures de Dollfus, il est possible que les résultats de Leroy soient systématiquement trop forts (propos recueillis au Symposium no. 22 de l'UAI, 1963). S'il en est bien ainsi, l'accord entre les observations et les calculs théoriques de Débarbat (18) s'en trouvera amélioré.

L'origine de l'absorption continue dans le spectre violet et ultraviolet du Soleil—que les continuums de H⁻, H et des métaux ne peuvent expliquer—semble avoir été élucidée par Zwaan (20) qui a calculé l'absorption de la quasi-molécule H₂ d'après les données d'Erkovich.

ATLAS ET TABLES DU SPECTRE DE FRAUNHOFER. IDENTIFICATIONS

Les astronomes intéressés par les problèmes solaires seront heureux de lire les lignes suivantes communiquées par Madame Moore-Sitterly: 'The current revision of the Solar Spectrum Table 2935–8770 Å by C. E. Moore, M. G. Minnaert and J. Houtgast: Progress is being made on the completion of this second revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wavelengths. About two thirds of the table is in galley proof. Prof. Minnaert and his staff have furnished the measured equivalent widths of the solar lines, thus replacing the estimated intensities included in the 1928 edition. The table includes corrections to the wavelengths, revised identifications, and selected data on atomic and molecular spectra. The publication will appear as a Monograph of the National Bureau of Standards.'

Un nouvel *Atlas photométrique du spectre solaire de $\lambda 7498$ à $\lambda 12016$* par Delbouille et Roland (1) vient compléter la série d'atlas que Migeotte et ses collaborateurs de l'Institut d'Astrophysique de Liège ont mis à la disposition de la communauté scientifique. Ils nous promettent maintenant un autre atlas pour le domaine spectral 3000–7500 Å, qui est en cours d'enregistrement au Jungfraujoch, le spectromètre dans le vide étant utilisé avec double passage sur le réseau (2). La grande augmentation de résolution et la suppression complète des

'ghosts' ont les effets les plus spectaculaires sur l'aspect du spectre (comparé à l'*Atlas d'Utrecht*) et en particulier sur les intensités centrales des raies.

Un atlas du spectre solaire infrarouge de 1 à 6.5μ a été publié par Houghton *et al.* (3). Il est basé sur des enregistrements obtenus en avion à haute altitude, et l'élimination de la plus grande partie de la vapeur d'eau atmosphérique améliore nettement la visibilité des raies solaires dans les régions critiques telles que la bande de H_2O vers 1.9μ (4).

Nous devons à Voigt les informations suivantes: 'A new atlas of the ultra-violet spectrum of the Sun at $\cos \theta = 1.0$ and 0.2 from 2988Å to 3629Å has been published by G. Brückner (5). The spectra have been obtained with the concave grating spectrograph of the Göttingen solar tower (resolving power = 150 000). The plates given in this Atlas are reproduction of the original curves which have been recorded directly in intensity with the new photometer developed at Göttingen'.

Les problèmes d'identifications encore incertaines dans le spectre de Fraunhofer évoluent lentement, mais régulièrement, vers leur solution. Rigutti a terminé son travail sur le système rouge de CN au laboratoire et dans le spectre solaire, et a identifié aux bandes (0.0) et (1.0) de ce système 38 raies solaires de la région $9200-11\ 000\text{Å}$ (6). Rigutti *et al.* ont récemment étendu ce travail aux bandes (2.0) et (3.1) du même système (7).

Houziaux a montré que la raie à $10\ 397.6\text{Å}$ est due à une transition interdite de N I (8). Garstang et Dawe attribuent à Si I les raies 3020.020 et 3006.738Å (9), et à C I les raies 2964.85 et 2967.22Å (10).

LONGUEURS D'ONDE, ROTATION, CIRCULATION

La 'longueur d'onde' des raies de Fraunhofer est influencée de manière essentielle par la structure cinématique très complexe de l'atmosphère solaire, les fluctuations locales de vitesse étant couplées avec des fluctuations locales des paramètres de température et pression. La structure inhomogène de l'atmosphère produit des raies asymétriques et déplacées de la position unique qui résulterait des mouvements relatifs de l'observateur et de la surface solaire (rotation, mouvements de la Terre) ainsi que de l'effet Einstein. La longueur d'onde dépendant du niveau considéré dans le profil de la raie, les recherches sur l'effet Einstein doivent devenir des mesures de profils rapportés à une échelle absolue de longueur d'onde. Ce résultat est obtenu dans la méthode de Blamont et Roddier (1) où les profils sont mesurés à l'aide d'un spectromètre basé sur la résonance d'un jet atomique. La radiation de résonance du jet peut être déplacée par un champ magnétique (effet Zeeman), ce qui permet d'explorer le profil d'une raie solaire avec une bande passante comprise entre 10^{-4} et 10^{-3}Å . Cette méthode a l'inconvénient de n'être applicable qu'à un petit nombre de raies. Roddier étudie les longueurs d'ondes des raies de résonance de Sr I et Ca I en fonction de l'ordonnée choisie dans le profil et de la position sur le disque solaire.

En liaison avec le problème de l'interprétation de ses mesures de longueur d'onde, Higgs a étudié l'asymétrie de trois raies moyennes de Fe I au centre et au bord du disque (2), et remarque que les études relatives au déplacement vers le rouge doivent maintenant comporter l'étude complète des profils.

L'interprétation des résidus entre longueurs d'ondes mesurées et longueurs d'ondes prévues après soustraction de l'effet Einstein devrait être basée sur les propriétés réelles des structures cinématiques de l'atmosphère solaire, sur lesquelles nos connaissances évoluent très rapidement (cf. ci-dessous). Les tentatives basées sur des modèles formels grossiers du champ de vitesses ont cependant une valeur d'indication. La plus récente est celle de Jorand (3, 4), qui discute aussi en détail le rôle de l'effet Lindholm.

Nous n'avons pas relevé de nouvelle tentative de mettre en évidence par des moyens spectroscopiques une circulation générale plus ou moins stationnaire de la photosphère. Il s'agit

là d'un problème très difficile, puisque de tels effets ne peuvent apparaître que comme un résidu par rapport à des mouvements locaux et variables, de vitesses sans doute beaucoup plus grandes. En revanche le problème de la circulation en latitude a été abordé par l'analyse des mouvements des taches solaires (5, 6). Les auteurs ont cherché à séparer mouvements 'turbulents' et dérives régulières. Ils trouvent une vitesse systématique $V(\varphi) = K\varphi + \alpha \sin(2\pi\varphi/T)$, φ étant la latitude et les paramètres K , α , T variant en fonction du cycle solaire. Cette vitesse V est entièrement inaccessible aux méthodes spectroscopiques.

LE SPECTRE SOLAIRE DANS L'EXTRÊME ULTRAVIOLET

Nous passons ici en revue les nouveaux résultats obtenus dans l'étude du domaine spectral observable par les fusées et satellites que nous désignerons par domaine XUV. D'importants progrès ont été réalisés depuis 1961: résolution spectroscopique fortement améliorée; extension à des longueurs d'ondes plus courtes du domaine observé avec une résolution proprement spectroscopique; photométrie plus précise; variabilités mieux analysées; formation d'images monochromatiques de résolution bien meilleure.

De très importants articles passant en revue les progrès obtenus dans la spectroscopie de l'XUV ont été publiés en particulier par Friedman (1, 2), qui a de plus décrit en détail les importants résultats acquis par photométrie dans des bandes passantes relativement larges; par Hinteregger (3); par Tousey (4).

Parmi les réussites observationnelles les plus remarquables nous mentionnerons d'abord les mesures spectrophotométriques réalisées à bord du satellite OSO-A. Le spectrophotomètre à réseau concave dû à Lindsay et ses collaborateurs du Goddard Space Flight Center a fourni des résultats de qualité variable pour la région s'étendant de 420 à quelques dizaines d'angströms. Bien que la résolution et la qualité photométrique soient sensiblement inférieures à celles obtenues en fusée-sonde à l'aide de spectromètres plus importants, les enregistrements permettent pour la première fois l'étude des variabilités des raies sur une période de plusieurs mois. Les raies coronales de Fe xv et Fe xvi présentent une 'composante lentement variable' remarquable (5, 5 bis, 6).

Utilisant leur technique de la double dispersion par deux réseaux croisés, travaillant sous incidence quasi normale, Tousey *et al.* (7) ont obtenu le 22 Août 1962 des spectrogrammes de très haute résolution, pratiquement dénués de lumière diffuse parasite. Une résolution de 0.2 Å a été atteinte pour $\lambda_{2000-1200}$ Å, et poussée à 0.07 Å pour la région 1250-800 Å. Ces spectres sont stigmatiques, ce qui permet d'étudier la variation centre-bord des raies.

Lors du même vol, des spectres de résolution excellente (0.3 à 0.5 Å) ont été photographiés à l'aide de spectrographes à réseau sous incidence rasante; ils couvrent la région 500-170 Å et permettent des mesures de longueurs d'ondes précises. Des spectres encore meilleurs de ce domaine ont été photographiés le 10 Mai 1963 (4).

Sur ces spectres, le continuum montre l'assombrissement au bord jusqu'à 1800-1700 Å; au contraire il y a augmentation de brillance vers le bord à partir de 1525 Å. La température de brillance la plus basse observée semble être 4700°. Le changement marqué du caractère du continu à 1525 Å est attribué à l'ionisation de Si I. La résolution améliorée permet évidemment des identifications nouvelles (actuellement en cours), par exemple celle de la raie H α de C VI à 182.2 Å. Ont été résolus aussi des groupements de raies déjà connus tels que 6 raies de C III à 1175 Å, un 'blend' à 1084 Å, etc.; et surtout les profils de Lyman α et Lyman β ont pu être comparés. La théorie de Morton et Widing (8) pour Lyman α n'est plus acceptable.

Un autre progrès très important est dû à Hinteregger *et al.* (9) qui ont réussi le 2 Mai 1963 un enregistrement photoélectrique de la région spectrale 310-56 Å avec une résolution très accrue, meilleure peut-être que celle du spectre photographique de Tousey *et al.* Le continuum de Lyman de He II est mis en évidence. Le groupement de raies à 256-258 Å discuté par

C. Pecker est maintenant assez bien résolu (10). Il est certain que cet extraordinaire document sera une source de résultats nouveaux.

Une autre performance à porter à l'actif de l'année 1963 est l'extension jusqu'à 10 Å du spectre solaire observé avec un système dispersif, réussie en Juillet 1963 par Chubb *et al.* à l'aide d'un spectromètre à cristal. Le domaine 25-13 Å a été aussi observé sur la source à plasma confiné Scylla I (Los Alamos) avec le même instrument en vue de l'identification du spectre solaire; celui-ci paraît dominé par les raies de O VII et la série de Lyman de O VIII dans cette région (11).

Des images monochromatiques nouvelles de haute qualité ont été obtenues avec un instrument dû à Purcell, non seulement pour Lyman α , mais aussi pour He II 304 Å, Fe XV 284 Å et Fe XVI 335 Å. Ces régions émissives sont en étroite coïncidence avec les plages observables à l'aide de la raie K de Ca II et les raies coronales sont absentes en dehors des plages. Il est certain que ce type d'observation mènera à des développements importants. Un spectrohéliographe destiné au satellite OSO-B est en préparation au Naval Research Laboratory (raies Lyman α , He I 584 Å, He II 304 Å. Selon un rapport de Goldberg, un 'spectromètre-spectrohéliographe', susceptible aussi bien d'enregistrer le spectre du centre du disque que des images monochromatiques à toute longueur d'onde choisie dans le domaine 500-1350 Å, a été construit au Harvard College Observatory (Goldberg, Reeves et Parkinson). Cet appareil, également destiné à OSO-B, a été essayé avec succès à bord d'une fusée-sonde.

Nous nous bornons volontairement dans cette revue aux résultats d'observations les plus récents et les plus 'sensationnels' et nous nous excusons de cette sélection due au manque de place. D'autres contributions peuvent être trouvées dans la bibliographie (12) à (16). Parmi les plus intéressantes nous signalerons celles de Mandelshtan *et al.* décrivant la photométrie du Soleil en rayons X au cours de l'éclipse totale du 15 Février 1961 (17).

La première étape dans l'interprétation du spectre solaire XUV est évidemment celle de l'identification des raies. Des travaux particulièrement importants sur ce problème sont poursuivis par Ivanov-Kholodny et Nikolsky. Ceux-ci ont d'abord entrepris de prévoir le spectre solaire XUV, considérant à la fois les longueurs d'ondes et les intensités de plusieurs centaines de raies (18, 19), puis de comparer ces prévisions aux résultats d'observation (20). Une recherche similaire a été faite par Allen (21) qui calcule l'émission de 10 éléments pour un modèle de chromosphère-couronne schématisée par 7 couches homogènes, et la compare aux observations disponibles en 1959. Des recherches sur les identifications ont été aussi publiées par C. Pecker et Rohrllich (22, 23) d'après les observations relativement anciennes de Violett et Rense; ils notent en particulier la présence possible de raies interdites dans le spectre UV.

Les travaux exploitant les résultats de la spectrographie de l'XUV en vue d'améliorer nos connaissances de l'atmosphère solaire sont nombreux, et ont été récemment passés en revue par Pagel (24). Les observations de la région 2000-1500 Å permettent à de Jager de fixer à 4500° la température minimum de la transition photosphère-chromosphère (25). Les longueurs d'ondes plus courtes proviennent de la chromosphère et de la couronne et les principales recherches interprétatives (Ivanov-Kholodny et Nikolsky, Pottasch) sont mentionnées dans les chapitres correspondants de ce rapport.

LA PHOTOSPHÈRE

(a) Granulation

Les belles observations de la granulation réussies dans le cadre du Projet Stratoscope ont été soumises à plusieurs analyses approfondies. Bahng et Schwarzschild ont calculé les fonctions d'autocorrélation spatiale et temporelle des fluctuations de brillance au centre du disque (1, 2). La corrélation temporelle est réduite dans le rapport 1/e en 6.3 minutes. Le

spectre des fréquences spatiales de la granulation—corrigé du profil instrumental du télescope—semble passer par un maximum pour $\lambda \simeq 1700\text{km}$. Les fluctuations de la température de brillance ont un écart quadratique moyen $\overline{\Delta T_B}$ de 92° seulement.

Edmonds a étendu cette analyse à l'étude des variations centre-bord (3). Il y a une certaine incertitude sur $\overline{\Delta T_B}$ qui atteint 200° au centre du disque selon cet auteur. Le contraste de la granulation passe par un maximum pour $\theta \simeq 50^\circ$. A l'extrême bord, des fluctuations de brillance d'origine inconnue paraissent se superposer à la granulation proprement dite. En négligeant ce dernier phénomène Edmonds obtient la variation des fluctuations de température en fonction de la profondeur dans la photosphère.

Rediscutant la fonction d'autocorrélation de (2), Böhm montre qu'il subsiste de grandes incertitudes dans le spectre des fréquences spatiales de la granulation dans la région des hautes fréquences (4). Les difficultés sont encore plus grandes pour les observations au voisinage du bord (5).

Selon de Jager (6) 'the measured fluctuations of the granular intensities by Schwarzschild and Rösch yield consistently a photospheric model with a temperature difference of 1000° at an optical depth of unity. For this model, the computed root mean square fluctuation is 5% (in agreement with measurements by Schwarzschild and Bahng); the maximum fluctuations are 20% (in agreement with measurements by Rösch).' On peut se demander cependant si le modèle suggéré par de Jager peut s'accorder aux mesures de la variation centre-bord du contraste de la granulation.

Kerimbekov (7) a déduit d'observations cinématographiques les dimensions des granules ($0.66''$ à $1.30''$) et leur durée de vie. Krat et Judina ont trouvé une augmentation du contraste des granules avec leur dimension (8). Des mesures photoélectriques de Krat (24) indiquent que les fluctuations thermiques apparentes associées à la granulation sont en moyenne de 100° .

Le problème des variations systématiques éventuelles de la granulation au cours du cycle de l'activité solaire a été étudié par Macris et Banos (9) qui trouvent une corrélation élevée entre l'aire des taches et la distance moyenne entre granules. De bonnes observations obtenues à Athènes avec le réfracteur de 40 cm donnent une durée de vie de 8 minutes pour les granules (10). Les dimensions caractéristiques de la granulation sont différentes de la normale au voisinage des taches solaires (11). Ceci est confirmé par des mesures de Schröter (12) sur les clichés du projet Stratoscope, mesures qui portent aussi sur les pores et les filaments des pénombres.

Les travaux théoriques sur la granulation seront discutés plus loin en liaison avec les problèmes de la zone convective. Ce classement ne signifie pas que nous considérons comme établi, ni même comme probable, que la granulation photosphérique est un phénomène essentiellement et exclusivement convectif!

(b) Structures cinématiques et magnétiques

Nos connaissances sur les champs de vitesse de l'atmosphère solaire normale ont évolué de manière extrêmement rapide depuis 1961. L'importance des découvertes annoncées par Leighton dès 1960 au congrès de Varenna a été pleinement reconnue seulement en 1961, lorsqu'elles ont été connues d'un plus large public et confirmées par des méthodes d'observation plus familières.

La méthode originale de mesure des vitesses radiales employée par Leighton (13) comporte la 'soustraction photographique' de deux spectrohéliogrammes obtenus simultanément dans deux portions du profil d'une raie symétriques par rapport à la longueur d'onde moyenne de cette raie. Le cliché Doppler (Doppler plate) obtenu révèle les fluctuations de vitesse radiale par des fluctuations de densité photographique, et met en évidence de manière directe et précise la distribution des vitesses à la surface du Soleil. Près du bord, on observe le champ des

vitesse horizontales: il est constitué de grandes cellules (15–20 000 km) à évolution lente. A l'intérieur d'une cellule les vitesses ont une disposition radiale, la matière s'écoulant du centre de la cellule vers la périphérie. Cette structure a été appelée 'supergranulation'. Au centre du disque les vitesses observées sont verticales. Les éléments ont des dimensions de 2000–3000 km. Les fonctions d'autocorrélation temporelle montrent que l'on a affaire à des oscillations locales lentement amorties dont la période dominante (celle de la fonction d'autocorrélation) est 295 sec. Dans une publication ultérieure, Noyes et Leighton (14) montrent que cette période dominante décroît lentement pour des raies d'intensité croissante, et que des oscillations de période voisine caractérisent les fluctuations de brillance au centre des raies, des relations de phase déterminées existant entre brillances et vitesses.

Les mêmes problèmes ont été étudiés par Evans *et al.* d'après de remarquables séquences de spectrogrammes obtenus à Sacramento Peak pour de nombreuses régions spectrales; elles permettent l'analyse *simultanée* des fluctuations de vitesse dans des raies de toutes intensités, et des fluctuations de brillance à toutes longueurs d'onde dans le continuum et les raies de Fraunhofer. L'étude de l'amplitude des vitesses en fonction de l'intensité des raies et de la position sur le disque (15) permet de différencier nettement les propriétés physiques des vitesses verticales et horizontales. Les oscillations verticales les plus intenses (16) sont déclenchées par l'apparition des granules brillants; progressives à leur début, elles évoluent rapidement vers une oscillation stationnaire où toute la haute photosphère se meut en phase. L'analyse statistique (17, 18) montre que le spectre de Fourier des oscillations a l'aspect d'un 'pic de résonance' pour les raies formées au voisinage du minimum de température de l'atmosphère solaire. Le pic de résonance dérive vers les fréquences plus élevées pour des raies d'intensité croissante. Le spectre des mouvements révélés par les raies chromosphériques comporte une 'aile de haute fréquence' dont l'importance croît avec l'altitude dans l'atmosphère solaire.

Ces travaux ont clarifié quelque peu les résultats décevants à première vue, obtenus par différents auteurs (19, 20, 21) qui ont étudié en détail les corrélations entre granulation et vitesses verticales. La corrélation entre vitesses ascendantes et détails brillants est médiocre, et n'est que peu améliorée si l'on tient compte d'éventuels écarts de phase (18). Il apparaît qu'il existe une relation génétique entre certains granules et les oscillations, mais que l'évolution de ces deux phénomènes se poursuit indépendamment. Ils diffèrent également par leur échelle géométrique moyenne (20, 25). Alors que l'origine physique des oscillations se conçoit aisément, puisque toute atmosphère possède une fréquence de résonance, la cause physique de la granulation reste incertaine. Si les variations périodiques de température et de pression associées aux oscillations sont invisibles dans le spectre continu solaire, elles se manifestent sans ambiguïté avec des amplitudes, périodes et phases plausibles dans les fluctuations de brillance au centre des raies assez fortes (22, 22 bis) (14, 18, 23).

La variation de l'amplitude des vitesses avec la profondeur a été étudiée par la comparaison des effets Doppler dans différentes raies (15, 20, 26) et par la variation des déplacements observés en fonction du niveau d'intensité considéré dans les profils. Cette méthode est appliquée par Evans à de nombreuses raies. Toutes les mesures suggèrent que les vitesses macroscopiques passent par un minimum à une certaine profondeur.

De bons spectrogrammes des structures fines solaires ont été aussi obtenus à Pulkovo et analysés par Krat (24, 26) et par Vasileva (25). Ces mesures ont amené Krat à supposer que les mouvements observés et la granulation peuvent être interprétés par des ondes de compression. Les fluctuations de profil de certaines raies ont été aussi discutées par Krat, et plus récemment par Teske (27) qui décrit le rôle probable de l'insuffisante résolution spatiale des observations dans ce genre de mesures et dans les corrélations obtenues.

Les possibilités de la détection des vitesses radiales par 'soustraction photographique' (à la manière de Leighton) ont été soulignées par les expériences de Giovanelli et Jefferies qui ont

employé des images monochromatiques des deux ailes de $H\alpha$ obtenues avec un filtre polarisant de bande passante $\frac{1}{2} \text{ \AA}$ (28).

Howard a étudié la structure fine des vitesses radiales et des champs magnétiques de la surface solaire à l'aide du magnétographe des Babcock (29). Il a retrouvé par cette technique les oscillations de période 295 sec. Les champs magnétiques ont une moyenne quadratique de 8 gauss dans les régions non actives et semblent associés avec la structure des spectrohéliogrammes K_{2-3} . Semel (30) trouve un champ fluctuant de 20 gauss pour une région ayant peut-être des traces de facules.

La comparaison par Simmons et Leighton de clichés Doppler et de spectrohéliogrammes K_{2-3} suggère que la 'supergranulation' est corrélée avec le réseau chromosphérique (coarse mottling and network), les flocculi brillants du calcium se disposant entre les grandes cellules de la 'supergranulation' et sur leurs limites (36). C'est aussi sur le 'coarse mottling' que le champ magnétique est décelable.

La théorie de la formation du réseau chromosphérique associée aux champs magnétiques a été formulée par Pikelner (31), et Parker (32) a calculé la distribution du champ magnétique associé à une structure cinématique similaire à celle de la 'supergranulation'.

Le phénomène des oscillations de résonance de l'atmosphère solaire a déjà donné lieu à quelques études théoriques. Kahn (33, 33 bis) fait jouer un rôle essentiel à la réfraction des ondes acoustiques par le gradient de température dans la chromosphère; la zone du minimum de température se comporte comme un guide d'onde. Bahng et Schwarzschild considèrent la propagation verticale d'oscillations longitudinales de période 5 minutes dans l'atmosphère solaire, et montrent qu'il est possible de choisir le gradient thermique de la basse chromosphère, de manière à obtenir l'effet de résonance et les ondes quasi-stationnaires observées (34). Noyes et Leighton (14) discutent en première approximation les oscillations verticales de l'atmosphère isotherme et cherchent à prévoir les relations de phase entre brillance et vitesse. Plus récemment Noyes a analysé en détail l'effet d'une perturbation soudaine à la base de la photosphère (35) et trouve qu'elle provoque une oscillation initialement progressive, mais tendant très rapidement vers l'état stationnaire, en accord intéressant avec les observations de Evans et Michard (16).

Un type d'oscillation distinct des ondes de compression, et qui pourrait être significatif dans le contexte solaire, est suggéré par Jensen et Orrall (23).

La projection cinématographique des séquences de spectres d'Evans suggère une propagation horizontale de certaines oscillations. Mais des analyses statistiques des corrélations bi-dimensionnelles effectuées par Zirker (36) et par Servajean (37) indiquent que ce phénomène est probablement subjectif.

Des problèmes de transfert radiatif intéressants sont associés aux études de la structure cinématique de l'atmosphère solaire: il faut relier les déplacements observés des raies aux vitesses réelles aux différentes profondeurs. Athay (38) a évalué les 'profondeurs effectives' pour les raies de Mg I, mais la définition de ces profondeurs devrait être choisie de manière plus rigoureuse. Mein (39) a calculé les déplacements observables pour des distributions verticales sinusoïdales des vitesses dans l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde de ces distributions. Des ondes sonores de période assez petite sont totalement inobservables par des effets Doppler à cause de l'intégration de vitesses variables dans la couche de formation de la raie.

(c) *Profils des raies de Fraunhofer*

Les profils des raies de Fraunhofer contiennent une grande quantité d'informations sur les problèmes fondamentaux de la physique de la photosphère: températures, pressions et pressions électroniques de l'atmosphère 'moyenne', abondances des éléments, ionisation, populations des niveaux atomiques, champs de vitesse microscopique et macroscopique, inhomogénéités

thermodynamiques s'expriment à des degrés divers dans les profils. Les profils fluctuent dans des proportions considérables d'un point à l'autre de la surface solaire (inhomogénéité!). Les profils moyens n'ayant qu'une signification statistique, il importe plus que jamais de les étudier avec une précision extrême. Cette recherche de la précision dans l'observation et dans l'interprétation des profils devrait être considérée comme un impératif au stade actuel de l'évolution des problèmes.

Une telle précision est atteinte par Waddell dans des observations obtenues avec le spectrographe à double passage de Sacramento Peak. Il a publié la variation centre-bord des profils des raies D du sodium (1, 2) et du triplet vert *b* du magnésium (3). La comparaison montre que dans le domaine où domine l'élargissement Doppler, les profils des raies fortes d'un même multiplet sont homologues, c'est-à-dire que les profils des raies de forces d'oscillateur f_1 et f_2 sont identiques aux positions sur le disque μ_1, μ_2 telles que $f_1\mu_2 = f_2\mu_1$. Ceci indique que les fonctions-sources sont identiques dans les raies 1 et 2.

Les observations photoélectriques des variations centre-bord des raies de Balmer de $H\alpha$ à $H\gamma$ obtenues à Göttingen par David et déjà citées dans le précédent Draft Report ont été publiées (4). De nouvelles mesures des raies $H\alpha$ à $H\gamma$ ont été obtenues au High Altitude Observatory par White, qui a enregistré les variations centre-bord de l'intensité à longueur d'onde constante dans le profil (5). Ultérieurement, l'auteur obtient les fonctions-sources et les largeurs Doppler empiriques en fonction de la profondeur optique au centre de $H\alpha$ (6). Les températures d'excitation décroissent de manière monotone avec la profondeur, tandis que la température cinétique croît.

A Göttingen, T. Schmidt a complété son travail sur les variations centre-bord des profils et largeurs équivalentes des raies de résonance de Cu à 3248 et 3274 Å, et a obtenu les températures d'excitation ainsi que l'abondance de Cu (7).

D'importants programmes d'étude des profils sont traditionnellement poursuivis à Utrecht, la plupart des mesures étant d'ailleurs faites avec le spectromètre installé par Migeotte au Jungfraujoch. De Jager et Neven ont analysé les variations centre-bord du multiplet de C I à 10 700 Å et en ont déduit les vitesses de turbulence (8). Namba (9) a étendu aux régions actives l'étude des profils de He I 10 830 Å. Les observations de 52 raies infrarouges de nombreux éléments ont été achevées, et 45 raies (principalement Fe I) du visible sont en cours de mesure.

Beckers a étudié les variations des ailes de la raie K en fonction de la distance au centre, et aussi de la latitude (10), et montre que l'élargissement est dû essentiellement aux interactions du type Van der Waals avec les atomes d'hydrogène. Gathier (11) a prouvé que les intensités centrales des raies dans l'Atlas d'Utrecht sont en bon accord avec les mesures photoélectriques modernes (spectromètre à vide de l'Observatoire McMath-Hulbert) après correction pour le profil instrumental.

D'autres séries de mesures de profils, intensités centrales et largeurs équivalentes ont été publiées par Mitrofanova (12) pour la région spectrale 4000–4500 Å et par Kuliev (13).

E. A. Müller et Mugglestone 'are studying the centre-to-limb variations of the centre intensities, the half-widths and the equivalent widths of various lines of C, N and O in the solar spectrum. No definite results are available at present.'

Mattig et Schröter (14) ont déterminé les variations centre-bord des ailes des raies D de Na par enregistrements photoélectriques et ont étendu ces observations jusqu'à l'extrême bord par des photographies du spectre obtenues à l'éclipse partielle du 2 Octobre 1959, le profil de la Lune permettant une correction précise des effets de l'étalement atmosphérique de l'image. Dans la discussion, ils ont introduit une formulation de l'intensité des ailes plus rigoureuse que le paramètre *c* de Minnaert.

L'asymétrie des profils des raies du triplet infrarouge de O I et de diverses raies métalliques a été étudiée par Olson (15) pour le centre du disque. L'asymétrie observée est interprétée par

un modèle convectif à deux colonnes (colonnes chaudes ascendantes) avec un écart de température comparable à celui que fournissent les observations de granulation. Les mesures récentes sur des spectres résolvant la structure fine (cf. ci-dessus) indiquent qu'un tel modèle est inacceptable. La théorie des profils asymétriques a été discutée par Kulander (19).

Lefèvre et Pecker (16) ont publié de nouvelles mesures des variations centre-bord des intensités centrales de raies de Ti I et Fe I. Les résultats ne peuvent être interprétés par les relations entre températures d'excitation et profondeurs optiques obtenues par l'étude des raies au centre du disque. Il faut faire intervenir l'hétérogénéité thermique supposée de la photosphère dont 'l'échelle' serait 300 km dans le cas du modèle à deux colonnes de Böhm.

Le problème de la polarisation dans les raies de Fraunhofer est maintenant repris par des méthodes photoélectriques précises. Brückner (17) a découvert un résultat inattendu: la polarisation dans la raie 4227 Ca I à $\mu = 0.1$ est plus forte dans les flancs (vers les limites du noyau Doppler) qu'au centre de la raie. Des mesures similaires sont en préparation à Potsdam (communication de Jäger). Certains aspects techniques sont discutés (18).

(d) *Théorie du spectre de Fraunhofer*

Nous avons déjà mentionné certains travaux d'interprétation qui s'appuient directement sur les observations. Dans ce paragraphe nous mettons l'accent sur les recherches dont l'orientation est surtout théorique, et qui visent à expliquer certains aspects du spectre de Fraunhofer. Elles sont dominées par le problème des écarts à l'équilibre thermodynamique local, et par les questions de transfert en atmosphère hétérogène.

Les travaux de J. C. Pecker et de ses collaborateurs, déjà cités dans le précédent Draft Report, qui tendaient à mettre en évidence des écarts à l'ETL notables dans la formation des raies de Fraunhofer les plus 'banales', par la discussion empirique des intensités centrales et largeurs équivalentes, ont été critiqués par Unsöld (1). Partant de l'hypothèse de l'ETL, cet auteur examine sa cohérence interne, et évalue l'ordre de grandeur des écarts possibles aux lois de Boltzmann et Saha. Pour les métaux courants de potentiel d'ionisation 7-8 eV, seuls les processus d'ionisation à partir des bas niveaux peuvent introduire des écarts à la loi de Saha évalués à un facteur 2 au maximum à la profondeur optique $\tau = 0.01$. L'isotropie du champ de rayonnement, presque réalisée dès que l'épaisseur optique n'est pas infiniment petite, tend à établir les conditions d'ETL. Le résultat de Pecker selon lequel $T_{ex} > T_e$ pour le titane devrait entraîner l'apparition des raies de Ti en émission près du bord (au moins dans une atmosphère approximativement homogène).

Il est certain que les arguments d'Unsöld laissent la porte ouverte à des écarts à l'ETL importants pour certains niveaux atomiques et les couches élevées de l'atmosphère. Où ces écarts commencent-ils, pour les divers éléments et états? Ceci ne peut être décidé que par deux méthodes: la solution simultanée des équations d'équilibre statistique et des équations de transfert, ou des recherches empiriques analogues à celles de Pecker, mais plus précises. Les deux méthodes se heurtent à des difficultés considérables.

Elles ont été appliquées simultanément par Johnson au cas de Na (2, 3). L'étude empirique montre de grands écarts à l'ETL de sens variable avec la profondeur: $T_{ex} > T_e$ à $\tau \simeq 0.1$ et $T_{ex} < T_e$ pour $\tau < 0.01$. Il en résulte une certaine compensation dans les largeurs équivalentes, de sorte que l'écart à la loi de Boltzmann affecte peu les abondances calculées en ETL.

La discussion empirique d'écarts à l'ETL par la méthode de Pecker a été étendue aux éléments Fe I, Cr I (4) tandis que divers problèmes méthodologiques associés à cette méthode étaient discutés (5, 6) et des auxiliaires de calcul publiés (7, 7 bis). Les écarts trouvés sont plus petits que dans le cas de Ti I.

La méthode théorique d'étude des écarts à l'ETL a été appliquée par Cuny à l'hydrogène. Elle trouve que ces écarts sont trop faibles pour avoir un effet quelconque sur la discontinuité de Balmer (8).

Athay donne une méthode simple pour déterminer les largeurs Doppler des fortes raies de Fraunhofer (9), méthode critiquée par Thomas (10). Unno et Yamashita décrivent aussi (11) une méthode d'évaluation des largeurs Doppler et vitesses de turbulence, basée sur la comparaison des courbes de croissances obtenues pour différents choix arbitraires du niveau du spectre continu dans la mesure des largeurs équivalentes.

Une longue et intéressante discussion des profils des raies faibles a été publiée par Thompson (12). Basée sur des observations centre-bord de 4 raies du fer, elle cherche surtout à expliquer la forme des profils. Après un examen détaillé des possibilités offertes par les champs de vitesse, l'auteur considère les mécanismes de diffusion. Il analyse à nouveau le processus de redistribution non cohérente 'thermique' (selon la terminologie de Zanstra), et montre qu'il peut conduire à une fonction-source dépendant de la fréquence dans la raie, et aussi de la position sur le disque. A Meudon, des recherches similaires tendant à déduire les vitesses de turbulence des profils, compte tenu des écarts à l'ETL et aussi de variations éventuelles de la fonction-source avec la fréquence, ont été entreprises.

L'ensemble de ces travaux suggère que la physique de la formation des raies de Fraunhofer est si complexe qu'elle ne pourra atteindre aux certitudes que lorsque la variation de T_e avec la profondeur, ainsi que les propriétés réelles des inhomogénéités auront pu être déterminées par des méthodes quasi-indépendantes de l'analyse des profils.

Les problèmes de transfert en atmosphère non homogène, et non forcément en équilibre radiatif, ont été analysés par Wilson (13, 14) en vue d'application aux observations de granulation, de taches, et en général de tous les cas où les propriétés physiques et optiques de l'atmosphère changent rapidement avec une coordonnée horizontale. Notant que les observations permettent d'obtenir des modèles approchés des variations horizontales de l'intensité moyenne \bar{I} , Wilson cherche à obtenir les variations du coefficient d'absorption, en fonction de modèles adoptés pour \bar{I} et pour la dissipation non radiative d'énergie. Une analyse des résultats d'Edmonds sur la variation centre-bord du contraste de la granulation suggère que ces résultats sont incompatibles avec une photosphère en équilibre radiatif, mais qu'il est nécessaire de postuler une libération d'énergie 'convective' fonction de la position et de la profondeur (15).

Dans d'autres travaux consacrés à l'atmosphère homogène Giovanelli (16) et Wilson (17) ont décrit des méthodes simples de calcul des profils formés par diffusion complètement non-cohérente.

Les problèmes du transfert en présence de l'effet Zeeman, si importants pour l'interprétation des observations faites en vue de mesurer les champs magnétiques, ont été étudiés par Rachkovsky (18, 19) et par Stepanov (20).

(e) *Abondances des éléments*

La détermination de la composition chimique de l'atmosphère solaire est une application des travaux expérimentaux et théoriques décrits dans les deux paragraphes précédents. A la suite des suggestions selon lesquelles des écarts à la loi de Boltzmann dans la photosphère pourraient fausser gravement les calculs d'abondances, de nombreux travaux ont été consacrés à cette question. Certains ont déjà été cités ci-dessus.

Une discussion particulièrement importante a été entreprise par E. A. Müller et Mutschlecner (1) dont on notera la conclusion peu optimiste: 'Investigations of centre-to-limb variations of curves of growth were carried out in order to detect any non-LTE effects on solar abundances. The neutral stages of the elements Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, and Co were considered. For three positions on the solar disk, $\mu = 1.0, 0.5, \text{ and } 0.3$, theoretical curves of growth were computed by the weighting function method employing a new semi-empirical solar model and new partition functions. The observed curves of growth were constructed with the most reliable f -values available and with equivalent widths measured on three solar spectrum atlases

of the McMath-Hulbert Observatory of the University of Michigan traced at the three values of μ . No systematic variation of the abundances from centre-to-limb or from lower to higher excitation lines could be detected. This indicates that the assumption of LTE does not introduce large errors in the solar abundances of the elements in the iron group. The improved observational and theoretical data employed in this investigation suggest more reliable results concerning the abundances of the elements in the iron group. However, the choice of the absolute f -value scale is still very questionable and, therefore, no significant abundance results can be obtained.'

Ces mêmes auteurs étendent leur analyse aux raies des métaux ionisés. A l'University of London Observatory un programme similaire a été entrepris par Warner qui ne trouve pas d'indication d'écarts à l'ETL appréciables dans les largeurs équivalentes, et note une abondance de Fe plus élevée que dans les résultats antérieurs.

A Ondřejov, Leftus (2) a étudié également en grand détail l'abondance du fer, en utilisant le modèle de Claas, mais des forces d'oscillateur révisées. Il n'apparaît pas de différences systématiques entre les courbes de croissance ou entre les abondances tirées des divers multiplets.

D'importants travaux sur les problèmes d'abondances sont poursuivis à l'University of Queensland par Mugglestone et ses collaborateurs. La méthode de calcul des largeurs équivalentes proposée par Mugglestone a été étendue aux raies fortes par l'introduction d'une fonction de saturation adéquate, et appliquée à l'oxygène pour lequel les abondances déterminées par les raies fortes et les raies faibles sont en accord raisonnable (3). Des programmes de calcul automatique ont été développés, et employés dans le cas du carbone (4). A la suite des critiques de Neven, O'Mara et Mugglestone (5) ont analysé en détail la valeur de l'approximation 'raie faible' pour les raies de grande profondeur de formation. O'Mara a étudié l'influence de l'effet Stark sur le calcul des largeurs équivalentes en vue de la détermination des abondances (6) et a amélioré les procédés de calcul des paramètres d'élargissement et des courbes de croissance. Finn a entrepris l'interprétation détaillée des variations centre-bord des profils des raies D mesurées par Waddell, et obtient une valeur de l'abondance de Na un peu plus élevée que la valeur classique.

Bien que la détermination des forces d'oscillateur améliorées soit essentielle à une meilleure connaissance des abondances, nous n'avons pas tenté de revue systématique des travaux dans ce domaine (qui relève plutôt de la Commission 14). Notons en passant les déterminations de Khokhlov (7) pour C I, Si I, Ge I, Sn I et Pb I. Ses résultats pour le plomb ont été utilisés par de Jager et Neven (8) pour l'évaluation de l'abondance de cet élément d'après la raie infrarouge à 7229 Å. Le même problème a été traité par Helliwell (9). Une estimation délicate de l'abondance de Bi a été tentée par Kachalov (10) d'après la raie 3067.7 Å.

La mesure de nouvelles forces d'oscillateur au National Bureau of Standards par Corliss, a amené Aller (11) à réviser les abondances de 22 métaux, utilisant par ailleurs le modèle et les méthodes du travail classique de Goldberg, Müller et Aller. A titre d'exemple, notons que l'abondance de Na est réduite d'un facteur 7, celle de Cu d'un facteur 35!

Goldberg remarque que les nouvelles observations de He I 10 830 Å dans les facules par Namba permettent d'abaisser la limite supérieure du rapport $^3\text{He}/^4\text{He}$. Citons aussi sur le problème des rapports isotopiques dans l'atmosphère solaire une intéressante revue de Righini (13).

(f) *Modèles et théories de la photosphère et de la zone convective*

L'intérêt en matière théorique s'est quelque peu déplacé dans les dernières années, et l'on n'assiste pas à de nouvelles tentatives de produire un modèle de la photosphère plus définitif que les précédents.

Holweger et Unsöld ont recherché avec quelle précision doit être assurée la constance du

flux dans l'équilibre radiatif pour que la distribution des températures soit exacte à une approximation donnée (1). Ils trouvent par exemple qu'un écart sur le flux de 0.03% à $\tau = 0.01$ correspond à une erreur $\Delta T/T$ de 1%. Ce calcul d'erreurs mathématiques a peut-être une signification physique: dans les couches superficielles un très faible transport d'énergie sous forme non radiative suffit à détruire la distribution thermique de l'équilibre radiatif.

Mädlow (2) a cherché comment le calcul des p , p_e à partir d'une distribution $T(\tau)$ déduite des observations du continuum est affecté lorsqu'on ne suppose plus l'ETL réalisé. La loi de Saha est remplacée par la solution approchée des équations d'équilibre statistique pour les éléments producteurs d'électrons (Mg, Fe). Les températures d'ionisations ainsi obtenues sont plus grandes que la température électronique, mais les valeurs de p , p_e sont peu éloignées des résultats trouvés en ETL.

Nous pouvons citer également ici les 'Tables of functions of selected models of the solar atmosphere' publiées par Andrews et Mugglestone (3).

Un important travail sur la théorie de la zone convective solaire a été publié par Böhm. En vue de préparer l'application au cas solaire de la théorie non linéaire de la convection de Ledoux, Schwarzschild et Spiegel, il a calculé à partir des équations hydrodynamiques linéarisées les propriétés des modes fondamentaux ayant une échelle horizontale $500 \text{ km} < \lambda/2 < 50\,000 \text{ km}$, en particulier leur taux de croissance ou 'degré d'instabilité' (4). Dans ce calcul, le modèle d'atmosphère est réaliste, et il est tenu compte des échanges d'énergie radiatifs. Certaines conséquences sont très intéressantes, par exemple l'absence de coupure de la convection par transfert radiatif même aux plus petites λ considérées; la restriction des modes de petites λ à une couche mince au sommet de la zone convective qui contraste avec la possibilité des modes de grandes λ de se propager jusqu'aux niveaux chromosphériques (cf. la 'supergranulation' de Leighton!). Ultérieurement (5), la théorie a été étendue aux modes d'ordre plus élevés et aux λ plus petites, mais en négligeant les effets radiatifs.

En vue d'étudier les conséquences observables de la convection subphotosphérique, Whitney (6) analyse la 'réponse thermique de l'atmosphère solaire' supposée sans mouvement, à des perturbations radiatives périodiques à sa limite inférieure. Les fluctuations thermiques à l'émergence décroissent rapidement avec μ : l'augmentation du contraste de la granulation à une certaine distance du bord indiquerait donc l'importance des variations thermiques dues aux perturbations aérodynamiques dans la haute photosphère.

De nombreux travaux théoriques ont déjà été cités dans le paragraphe consacré aux structures photosphériques. Revenons ici sur un travail suggestif de Parker (7) brièvement mentionné plus haut. L'auteur calcule la distribution du champ magnétique B résultant d'un faible champ uniforme initial B_0 auquel est superposé un champ de vitesse V donné: selon son degré d'instabilité, celui-ci peut être 'turbulent', 'persistant' ou 'stationnaire'. Un champ V turbulent donnera un champ magnétique fluctuant de moyenne quadratique \bar{B} multiple de B_0 avec tendance à l'équipartition pour $B_0 > 20$ gauss (plages). Un champ V persistant, tel que la supergranulation, donne un champ B concentré en feuillets et en filaments. Un champ V stationnaire tend à exclure le champ magnétique des zones en mouvement.

LA CHROMOSPHERE

(a) Spectrophotométrie

Depuis 1961 de nombreuses études photométriques du spectre de la chromosphère basées sur les observations d'éclipses totales ont été publiées.

Les mesures relatives au continuum sont particulièrement nécessaires. Nous avons relevé celles de Martynov (1) relatives au spectre de Balmer, et celles de Hiei portant sur le visible et l'ultraviolet (2). Cet auteur a discuté les résultats en tenant compte de la structure chromosphérique (spicules) se libérant ainsi de l'approximation peu satisfaisante d'une chromosphère

homogène. Une discussion soignée conduit à un modèle de la basse chromosphère, où n'apparaît pas de gradient très élevé de T_e comme dans les résultats de Pottasch et Thomas.

Houtgast (3) détermine les intensités absolues des plus fortes raies d'émission en fonction de la hauteur d'après ses observations de l'éclipse de 1954. Les raies H et K ont pu être mesurées jusqu'à 14 000 km. Des spectres éclairés de la même éclipse ont été analysés par Martynov et Alduseva, qui publient aussi des intensités absolues (4). On a souvent regretté que de bons spectres de la chromosphère obtenus à de nombreuses éclipses soient restés non dépouillés: il est important d'extraire toute l'information possible d'observations anciennes, comme l'a fait Bolokadze (5).

La zone de transition photosphère-chromosphère a été étudiée par Houtgast et Koelbloed d'après des spectres de l'éclipse de 1961. Ils ont déterminé les intensités absolues des raies faibles et leurs variations au passage du bord solaire apparent (6). Des différences caractéristiques de comportement pour les raies de différents atomes ont été trouvées et sont en cours d'interprétation théorique.

La spectrophotométrie des raies chromosphériques intenses est possible hors des éclipses sous réserve de conditions exceptionnelles de qualité des images. Les observations hors des éclipses peuvent être faites avec de grandes images et des résolutions élevées, mais l'influence de la lumière photosphérique parasite doit être laborieusement évaluée. La plus grande partie des travaux dans ce domaine portent sur les spicules (voir ci-dessous).

Cependant le profil chromosphérique de la raie He I 10 830 Å a été mesuré en fonction de la hauteur par Z. Mouradian (7) et par Gulaiev (8) qui a aussi étudié cette raie sur le disque. Les observations indiquent que l'épaisseur optique est du même ordre sous incidence normale (disque) et tangentielle (bord), ce qui peut s'expliquer si la raie est émise dans un petit nombre d'éléments chauds (spicules?) dont l'épaisseur optique individuelle pour cette raie est de l'ordre de l'unité.

Suemoto (9) a étudié la turbulence dans la chromosphère d'après les spectres à grande résolution obtenus à l'éclipse de 1958. A partir de 2000 km, ces spectres montrent les spicules. La vitesse de turbulence déterminée par la méthode des multiplets augmente de 2-3 à 17 km/sec entre 0 et 2000 km, puis se maintient à cette dernière valeur jusqu'à 10 000 km. A 2000 km et au-delà, la vitesse obtenue correspond presque exclusivement aux mouvements macroscopiques des spicules (mesurés par les déplacements des raies), la turbulence interne des spicules semblant inférieure à 7 km/sec. Les vitesses trouvées sont évidemment incompatibles avec celles tirées de l'analyse du profil de la raie K_{2-3} en atmosphère supposée homogène: la contradiction peut être résolue en notant que le centre de la raie K sur le disque provient simultanément de la haute photosphère homogène et des spicules, ces derniers produisant la raie d'émission.

Les observations indiquent que l'émission des raies de He I, en particulier D_3 , passe par un maximum vers 1500 km; ceci conduit White à suggérer que l'émission de He serait confinée à une couche mince de la chromosphère moyenne (10). Notons ici que l'émission de He est aussi produite par les spicules aux altitudes élevées; cependant il y a nécessairement dans la chromosphère interspiculaire une couche de transition où le spectre de He est également émité, l'épaisseur de cette couche dépendant de l'importance du gradient de T_e .

Les spectres obtenus à Khartoum en 1952 par la mission du High Altitude Observatory sont encore la source de travaux importants. Athay et House étudient Mg I (cf. ci-dessous); Tandberg-Hanssen discute l'équilibre de Ba dans l'atmosphère solaire d'après les raies d'émission de Ba II; des contradictions sont relevées quant à l'importance de la saturation dans les raies du doublet de résonance. L'interprétation du spectre par la solution des équations d'équilibre statistique a été tentée (11).

Il est à souhaiter que durant les prochaines années la qualité photométrique des observations

du spectre chromosphérique s'améliore, afin que disparaissent les désaccords atteignant parfois un facteur 10 entre les résultats de divers chercheurs: des écarts de cet ordre ne peuvent être dus à des variations locales ou temporelles de la chromosphère.

(b) *Spicules et structures chromosphériques*

Des séquences de spectres des spicules décrivant la variation dans l'espace et dans le temps de ces formations ont été obtenues à l'Observatoire du Pic du Midi. Ces documents ont été étudiés à Meudon par Mouradian, qui a montré en particulier que la vitesse radiale des spicules, mesurée par l'effet Doppler, ne change pas au cours de leur vie: les spicules 'montent' mais disparaissent sur place et ne retombent pas (1).

Suemoto et Hiei (2) ont observé la structure spiculaire dans de nombreuses raies à partir de 1000 km sur leurs spectres-éclair de 1958, confirmant ainsi pleinement les résultats antérieurs obtenus dans les ailes de $H\alpha$.

Les observations spectroscopiques des spicules au coronographe ont été étendues par Athay (3) aux raies H, K, 8498 Å et 8542 Å (Ca II), H_e , 7772-7774 Å (O I), et utilisées à une discussion des mécanismes d'élargissement. Il semble que les raies de Ca II sont élargies en partie par des mouvements macroscopiques particuliers aux ions, et que les atomes neutres ne partagent pas. De nouvelles observations de haute qualité des profils de raies des spicules ont été publiées par Zirker (4). Dans un article antérieur, Zirker (5) montre qu'une température électronique de 50 000° suggérée par les observations de profils est inacceptable. Une température inférieure à 20 000° avec une densité électronique $n_e = 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ rend compte de la brillance des spicules en H α et K. Actuellement les profils très larges observés sur les spicules restent en partie inexplicés.

A noter que Krat *et al.* analysant des profils de raies chromosphériques parviennent à la conclusion un peu surprenante que la structure spiculaire doit être considérée comme non chromosphérique: les spicules se dresseraient au-dessus de la chromosphère et devraient être rapprochés des 'surges' et éruptions (6).

Le problème de l'identification des spicules sur le disque semble avoir évolué de manière décisive avec les belles observations de Cragg *et al.* (7). Des spectrohéliogrammes $H\alpha$ d'une extraordinaire qualité (Mount Wilson) montrent clairement au voisinage du bord des 'haies' ou des 'bouquets' de spicules s'élevant à partir de filets brillants du réseau chromosphérique. Il semble établi que le nombre total de spicules sur la surface solaire est modéré ($5 \cdot 10^4$?) et que ces formations se produisent en groupes ('bushes'), points importants pour l'interprétation du spectre chromosphérique.

Des travaux similaires ont été entrepris à Sacramento Peak par Beckers, utilisant simultanément des spectrohéliogrammes $H\alpha$ et K et des films obtenus avec filtre monochromatique (8, 9). Un calcul du spectre de Balmer des spicules conduit à des résultats voisins de ceux de Zirker.

Le rapport suivant sur le programme d'étude des spicules entrepris à Sydney apporte une confirmation à plusieurs résultats déjà notés ci-dessus: 'Ravi Bhavilai (C.S.I.R.O. Division of Physics) has been observing spicules at the limb using a Lyot filter and polarizing beam splitter giving simultaneously two separate monochromatic solar images in the opposite wings, $\frac{3}{4}$ Å from the centre of $H\alpha$. Exposures are triggered off at favourable instants by a seeing monitor, residual deformations being identical on the two pictures. Line-of-sight motions are being studied in spicules from the low chromosphere and also at greater heights. In the low chromosphere clusters of fine curved spicules are recorded, similar to those sketched by Secchi. The clusters have durations exceeding an hour and individual spicules may have line-of-sight velocities of 20 km/sec or more. The well known straight spicules, which are probably of different character, are observable at higher levels on longer exposures, and these can also be traced back to the limb. Of these, any given spicule shows a line-of-sight velocity component of the

same sign throughout its lifetime. By inference, its mass motion is continuously outward or inward, and does not reverse. Work is proceeding aimed at the identification of spicules on the limb and on the disk ”.

Les durées de vie et mouvements des structures chromosphériques sur le disque ont été discutés par Tsap (10). Macris a étudié sur des spectrohéliogrammes K_{2-3} obtenus à Arcetri les durées de vie (11) et les brillances (12) des flocculi du réseau chromosphérique. Cet auteur trouve des durées de vie de l'ordre du jour, et jusqu'à 50 heures. Notons en passant que les flocculi considérés ici peuvent être identifiés aux racines où naissent les bouquets de spicules, et sont aussi les points où le champ magnétique est mesurable.

(c) *Théorie du spectre chromosphérique et de la chromosphère*

L'interprétation du spectre de la chromosphère présente des problèmes d'une agréable complexité par suite de l'absence (indiscutée!) de l'ETL et de la structure fortement hétérogène. De nombreux auteurs ont cherché à améliorer la théorie de la population des niveaux atomiques dans les conditions chromosphériques.

De nouvelles tables des populations pour les atomes d'hydrogène ont été préparées par Sobolev (1). Des calculs relatifs à He I (2) ont été employés par Kononovitch à une nouvelle discussion du spectre chromosphérique de cet élément, suggérant une structure très hétérogène avec des colonnes de 700 km. Schalaev a publié des calculs analogues (3). Le problème de l'excitation et de l'ionisation de He I a été aussi repris par Jefferies et Orrall (4, 4 bis) en vue d'interpréter le spectre de la chromosphère et de déterminer l'abondance de He dans les protubérances. La température caractéristique des régions émettant le spectre de He I n'est que 25 000°.

Une importante analyse des spectres chromosphériques de Mg I, Ca I et O I est due à Athay et House (5). Ce travail comporte une nouvelle photométrie des raies de ces éléments sur les spectres d'éclipse de 1952; les comparaisons mettent en évidence des écarts importants à la loi de Boltzman pour Mg I et O I, et un retard probable à l'ionisation de Ca I. Les auteurs se sont attaqués au difficile problème du calcul des populations pour Mg I, représenté par un modèle à 7 niveaux, et obtiennent un accord raisonnable avec les résultats empiriques.

L'équilibre statistique de Ca II dans les conditions chromosphériques a été analysé par Athay et Zirker (6), employant une approximation à 4 niveaux. Les calculs d'opacité suggèrent que les raies H et K sont formées à des niveaux où $T_e \simeq 15\ 000^\circ$.

Malgré ce travail et ceux de Matveeva (7) qui considère les questions de transfert, Khokhlova (8) et Obridko (9), il ne semble pas que le problème de l'interprétation des profils de H et K soit complètement résolu. Il sera nécessaire de faire intervenir simultanément la théorie des populations hors ETL et la structure hétérogène très complexe de la chromosphère.

Les nouveaux travaux sur les modèles de la chromosphère ont été relativement nombreux. Ivanov-Kholodny *et al.* se sont intéressés surtout à la haute chromosphère et à la zone de transition chromosphère-couronne, utilisant à la fois les observations du spectre visible et de l'extrême ultraviolet (10, 11, 12). Dans ce dernier article les auteurs discutent les mécanismes d'ionisation de H et He et calculent la distribution en altitude de He I, He II et He III de 1000 km à la couronne interne. Les calculs des continua de He à 504 Å et à 228 Å sont en accord satisfaisant avec l'observation.

De nouveaux modèles chromosphériques hétérogènes ont été construits à Tokyo. Moriyama (13) a suggéré pour la première fois que la chromosphère (même hors des régions actives) n'est brillante en ondes centimétriques que sur une faible partie de sa surface, de l'ordre de 10%. Suemoto et Moriyama sont parvenus à des conclusions analogues en ce qui concerne le spectre de l'extrême ultraviolet (14) et leur travail a été étendu et précisé par Koyama (15).

On notera aussi une discussion par Namba (16) de modèles hétérogènes antérieurs à 1961.

La théorie du chauffage de la chromosphère et de la couronne à partir d'énergie mécanique provenant de la zone convective a reçu des développements importants. Osterbrock (17) a abordé le problème du rôle des champs magnétiques, en discutant le transfert et l'atténuation des divers modes magnétohydrodynamiques, dont l'importance est variable selon les valeurs du champ et de la vitesse du son. L'étude de la réfraction des 3 principaux types d'ondes magnétohydrodynamiques par Holweger (18) peut également être significative pour la physique de la chromosphère.

Dans une courte note, Unsöld (19) estime à quel niveau atmosphérique, défini par la pression, la libération d'énergie mécanique a des effets thermiques sensibles. Giovanelli décrit comme suit un travail suggestif sur le comportement des ondes de choc dans une atmosphère: 'An approximate analytical method has been used by G. A. Bird (Dept. of Aeronautics, University of Sydney) to study the behaviour of shock waves in a gravitational atmosphere. Relations have been determined for the rate of change of shock strength with distance in plane, cylindrical or spherical atmospheres, with or without steady mass motions and with arbitrary distributions of temperature and composition. Bird has suggested that a shock-heated atmosphere is likely to be in a state such that it has little effect on the strength of the waves, and has developed from this hypothesis a solar atmosphere model which predicts correctly the magnitude as well as the average gradient of the coronal temperature rise.'

La théorie des spicules a été abordée par Uchida (20). Récemment ce même auteur a étudié l'effet des champs magnétiques sur le chauffage de la chromosphère et de la couronne par des ondes de choc en tenant compte dans le bilan énergétique de la dissipation d'énergie mécanique, de la conduction et du rayonnement. Il trouve que le champ magnétique tend à déplacer vers le haut la zone de transition chromosphère-couronne, et à renforcer la température et la densité coronales (21).

Excepté dans les régions actives, on peut sans doute négliger l'effet du champ magnétique, ainsi que l'ont fait de Jager et Kuperus (22), qui ont déterminé un modèle de la chromosphère-couronne en résolvant l'équation du bilan énergétique: le flux d'énergie mécanique et son niveau de libération furent obtenus en combinant les données empiriques et théoriques, tandis que la théorie de Schatzman permettait de traiter la question de l'absorption des ondes de choc dans la couronne.

Notons enfin de nouveaux calculs de la conductibilité du gaz chromosphérique par Vasileva (23) et une recherche par Mme S. Souffrin des différences possibles entre températures des ions et électrons; ces différences sont trouvées insignifiantes dans les conditions chromosphériques (24).

LA COURONNE

(o) *Spectre continu*

Des mesures de qualité variable de la brillance et de la polarisation de la couronne en éclipses totales continuent de s'accumuler. Il serait souhaitable d'étendre ces mesures à des domaines spectraux plus variés, surtout dans l'infrarouge et pour la couronne externe, où le rougisement est significatif.

Waldmeier a poursuivi son analyse de la couronne du 30 juin 1954. Il discute dans (1) la photométrie des plumes polaires et note que les fluctuations de densité électronique doivent être plus grandes que ne l'indiquent les estimations directes du contraste des plumes, car la couronne polaire de minimum résulte d'une superposition statistique de ces objets. La mesure de la distribution de brillance à cette éclipse a été étendue jusqu'à 30 R_{\odot} (2) et Widmer a calculé la densité électronique dans la couronne de minimum d'après les observations de l'expédition zurichoise (3). Des mesures de polarisation pour la même éclipse observée en U.R.S.S. ont été publiées par Dolginova (4) et par Gits (5).

A l'éclipse du 12 Octobre 1958, les observateurs japonais réussirent des mesures de brillance

et de polarisation jusqu'à de très grandes distances du Soleil. Les résultats complets ont été publiés par Saito et Yamashita (6). Hiei a déterminé un modèle de condensation coronale d'après les observations de la même éclipse (7).

Les résultats pour l'éclipse du 15 Février 1961 ont été particulièrement abondants et leur publication est encore incomplète. Des données photométriques et polarimétriques détaillées ont été publiées par Mme Hack et Fracassini (8, 9); la distribution de brillance a été mesurée par Waldmeier (10); des mesures photométriques photoélectriques sont dues à Dumont et Rousseau (11). Des observations obtenues en U.R.S.S. ont été publiées: colorimétrie visuelle de la couronne par Sharonov (12); photographie infrarouge de la couronne externe jusqu'à $25 R_{\odot}$ (13); structure coronale en relation avec les protubérances (14); polarisation (15).

Des résultats photométriques relatifs à l'éclipse du 5 Février 1962 ont déjà été publiés par Waldmeier (16) qui a analysé particulièrement la distribution de brillance dans une remarquable condensation coronale (17).

Utilisant les résultats obtenus lors de 38 éclipses, Nesmjanovich a étudié les variations de différentes caractéristiques de la couronne au cours du cycle de 11 ans (18).

Les photographies à grande échelle de la couronne obtenues autrefois contiennent d'intéressantes informations, incomplètement exploitées. Von Klüber a pu tirer d'utiles résultats sur la structure photométrique de la couronne interne de la mesure d'une plaque de l'éclipse du 29 Juin 1927 (19).

D'intérêt particulier pour l'étude de la couronne 'normale' sont les observations radio-astronomiques du Soleil calme par Avignon et Le Squeren (20) ainsi que les observations d'éclipses en ondes centimétriques. Parmi celles-ci, notons celles de Molchanov portant sur les éclipses de 1958 et 1961 (21) et celles de Korolkov et Soboleva qui ont analysé une condensation centimétrique de l'éclipse du 19 Avril 1958 (22). L'éclipse de 1961 a été observée sur 4.3 mm par Tolbert et Straiton (23) qui ont mis en évidence d'importantes variations locales de la brillance, et sur 3.2 cm par Drago et Noci (24).

L'occultation des radio-sources offre des possibilités uniques d'étudier la couronne lointaine. Cette méthode a été étendue par Slee (25) jusqu'à $100 R_{\odot}$ grâce à la mesure d'un grand nombre de sources.

On a souvent supposé que les plumes polaires représentent les lignes de force du champ polaire du Soleil. Partant de cette hypothèse, Godoli a recherché les coordonnées héliographiques des pôles de ce champ, d'après les photographies d'une dizaine d'éclipses: ces coordonnées ne sont pas stationnaires (26, 27).

(b) *Spectre d'émission*

A l'éclipse du 15 Février 1952, Lyot a employé pour la première fois des spectrographes à fente circulaire donnant la distribution des raies coronales à une hauteur donnée autour du limbe dans le domaine spectral 3300–6900 Å. Les spectres obtenus alors ont fait l'objet d'une nouvelle étude approfondie par Aly, Evans et Orrall (1, 2). Le continuum et 17 raies d'émission ont pu être mesurés pour une condensation coronale, et d'assez nombreuses raies faibles non identifiées et plus ou moins probables ont été signalées (1 bis). Les rapports d'émission pour 3 paires de raies coronales conduisent à des températures incompatibles (2).

Les mêmes instruments ont été employés par des observateurs de Meudon à l'éclipse de 1961 et les distributions en latitude d'une dizaine de raies ont pu être mesurées (non encore publié). A la même éclipse, Fehrenbach et Wlérick ont obtenu de bons spectres infrarouges de la couronne avec le télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute-Provence, ont précisé les longueurs d'ondes de raies connues et décelé plusieurs raies nouvelles probables (3). Le domaine spectral 7800–12 000 Å a été observé en avion par Kurt (4) à l'aide d'un convertisseur d'image.

Enfin, toujours le 15 Février 1961, Rigutti et Russo ont étudié le spectre visible de la couronne interne (5) et d'une protubérance (6).

Parmi les observations les plus intéressantes obtenues en dehors des éclipses, on peut citer celles de Firor et Zirin au High Altitude Observatory, qui comportent la photométrie de 5 raies coronales correspondant à 5 états d'ionisation du fer (7). De nouvelles mesures de largeurs de raies portant sur des structures coronales bien isolées ont été discutées par Billings et Lehman (8). Les raies verte et rouge ont des largeurs très nettement différentes, ce qui suggère qu'elles sont émises dans des volumes de gaz distincts. Dollfus parvient à la même conclusion en comparant des images obtenues avec des filtres de Lyot isolant certaines raies (9).

Billings (8 bis) remarque que les observations de profil des raies imposent des limites plutôt sévères aux propriétés des mouvements non thermiques qui contribuent sans doute à l'élargissement. Il a aussi cherché d'après les petits écarts aux profils gaussiens à distinguer les contributions thermiques et non thermiques (communication au Symposium d'Utrecht 1963).

Selon Yallop, la couronne est à la température relativement basse fournie par l'étude de l'ionisation, non à celle plus élevée qu'indiquent les profils: si cette dernière était correcte l'expansion hydrodynamique de la couronne serait si rapide et s'accélérait si vite avec l'altitude que l'élargissement correspondant des profils ne pourrait échapper à l'observation (10).

Une structure polaire de la couronne de longue durée de vie a permis à Billings et Cooper une nouvelle étude de la rotation solaire à haute altitude (11). Waldmeier a discuté d'importantes observations du gradient de la raie rouge (12). L'analyse des données systématiques a conduit Nishi et Nakagomi à un modèle de condensation coronale (13).

Des mesures de l'intensité de la raie verte en fonction de la hauteur au-dessus du limbe et de l'angle de position ont été entreprises à Meudon par P. Charvin à l'aide d'un coronomètre photoélectrique; un filtre polarisant est utilisé pour isoler la raie (14); une raie de brillance 10^{-6} est décelable sur un ciel de brillance $10^{-3} B_{\odot}$.

A l'aide du coronographe achromatique de Pulkovo, Prokofyeva a comparé les profils des raies coronales des zones normales et des condensations brillantes. Elle obtient par soustraction les profils d'émission de la condensation seule et montre qu'ils correspondent à des températures (ou turbulences) plus élevées (15). La séparation de la raie coronale verte et de la raie de Fraunhofer parasite 5302.31 \AA a été discutée par Shpitalnaja (16). Gnevyshev a étudié le comportement de la couronne au cours du cycle de 11 ans d'après l'ensemble des données des divers observatoires, et discute les différences de distributions entre brillances coronales, taches et filaments (17).

Pour les nombreuses raies coronales très faibles récemment découvertes dans le visible et l'infrarouge on n'a pu jusqu'à présent trouver d'identification à des transitions interdites. Ceci a conduit Mme C. Pecker à rechercher les identifications à des transitions permises entre niveaux fortement excités des ions coronaux appartenant aux séquences isoélectroniques de Li I et de Na I. Les coïncidences entre les raies prédites et les raies observées sont nombreuses, mais une meilleure détermination des niveaux intéressés est nécessaire pour parvenir à des identifications définitives (18). Des identifications de raies du visible à des transitions interdites ont été également publiées par C. Pecker et Rohrllich (19).

(c) *Théorie du spectre coronal et de la couronne*

Les travaux théoriques sur le spectre coronal ont eu essentiellement pour buts de mieux définir l'équilibre d'ionisation en fonction de la température, de perfectionner la théorie de l'excitation et de préciser le rôle d'éventuelles inhomogénéités thermiques qui semblent de plus en plus nécessaires pour rendre compte des observations.

Un mémoire récent de Seaton passe en revue de manière magistrale les problèmes de

l'interprétation des observations coronales dans l'ensemble du spectre, des rayons X aux ondes radioélectriques (1). Seaton a établi une formule d'ionisation relativement simple (2) dont il estime l'erreur maximum à un facteur deux. Les calculs de Nikolsky (3) donnent des résultats voisins.

Athay et Hyder (4) suggèrent que l'ionisation peut avoir lieu en deux étapes: excitation par chocs de l'état fondamental à un état métastable, puis ionisation à partir de cet état; ils ont calculé l'ionisation de Fe dans la couronne par ces processus.

Des progrès importants dans la théorie de l'excitation des raies coronales ont été accomplis grâce à C. Pecker et Thomas. Ces auteurs ont montré que, dans l'excitation des transitions interdites du visible, le peuplement du niveau supérieur de la raie par cascade à partir des niveaux excités situés quelques dizaines d'électrons-volts au-dessus de l'état fondamental, était le processus dominant. Ces niveaux excités étant responsables des raies permises de l'extrême ultraviolet, il faut de plus tenir compte du champ de rayonnement coronal dans ce domaine spectral pour calculer leurs populations. Le problème devient donc très complexe, et l'on peut seulement définir des limites supérieures des différents effets (5, 6, 7, 8).

Le calcul des sections de chocs pour l'excitation des transitions interdites ou permises est poursuivi activement à Ondřejov par Blaha (9), à Meudon par Van Regemorter et Bély (10, 11), à l'University College, London, par Seaton et Burgess (12). Les forces d'oscillateur nécessaires au calcul du peuplement par cascade du niveau supérieur de [Fe XIV] ont été calculées par Garstang (13).

Le rapport d'intensité des deux raies à 10 747 Å et 10 798 Å de Fe XIII est sensible à la densité électronique. Des observations de ce rapport et la théorie correspondante ont été faites par Kurt (éclipse du 15 Février 1961) (14) et par Dumont et Perche (coronographe du Pic du Midi). Les résultats des mesures sont compatibles avec des valeurs plausibles des sections de choc, mais il faudrait que ces dernières soient calculées avec précision pour que les observations déterminent N_e .

L'étude des abondances des éléments d'après le spectre coronal effectuée par Pottasch conduit à des résultats très intéressants. Il a d'abord discuté en détail l'abondance du fer (16) utilisant les intensités de 6374 Å [Fe X], 7892 Å [Fe XI] et 5303 Å [Fe XIV] et celles du continuum en fonction de la hauteur. Les 3 raies donnent des abondances voisines $N(\text{Fe})/N(\text{H}) = 7.2 \times 10^{-5}$, alors que le résultat couramment admis pour la photosphère serait 20 fois plus petit (Goldberg, Müller et Aller 1960). L'étude des autres métaux conduit aussi à des abondances 5 à 10 fois plus grandes que les valeurs photosphériques (17). Pottasch a aussi cherché à tirer les abondances des observations du spectre ultraviolet extrême et du spectre radioélectrique de la chromosphère-couronne (18). L'accord est bon avec les abondances photosphériques pour les éléments légers, jusqu'à S. Le spectre UV ne fournit pas de résultats pour des éléments plus lourds, sauf pour Fe où ils s'accordent avec ceux trouvés d'après les raies interdites du visible. Des différences réelles de composition entre photosphère et couronne ne sont pas exclues, car il existe plusieurs mécanismes de triage d'ailleurs antagonistes (gravité, diffusion thermique), tandis que les mouvements turbulents tendent à rétablir l'homogénéité chimique. L'importance relative de ces processus est mal connue (Seaton, (1)).

Il est maintenant admis que la couronne est loin d'être isotherme, mais il n'existe pas de modèle ni d'explication complète aux distributions horizontales de température. Selon Jefferies *et al.* (19) la température serait très élevée en moyenne—celle correspondant à l'émission de Fe XVI—mais décroîtrait de la périphérie au centre des condensations. Cependant la grande variabilité des raies de Fe XVI avec l'activité solaire indiquée par les observations (OSO—A) semble contredire ce modèle. Le problème de l'inhomogénéité thermique a été aussi discuté par Nikolsky (20).

La structure spatiale de la couronne, en particulier les propriétés physiques de diverses

structures et leurs relations avec les courants corpusculaires, ont été discutées par Mustel (21, 21 bis).

On a parfois cherché à expliquer le désaccord entre températures d'ionisation (identiques à T_e) et températures déduites des profils par une éventuelle différence entre les températures cinétiques des ions et des électrons $T_i > T_e$. Lüst *et al.* (22) cependant ont montré que ces deux températures ne peuvent différer beaucoup. Mogilevsky (23) a étudié la même question et trouve qu'en présence de champs électriques faibles non stationnaires dans une couronne hétérogène on pourrait avoir $T_i > T_e$.

La formation de courants électriques dans la couronne, nés des différences de charges entre régions de températures distinctes, a été étudiée par Shtilshtein (24).

Nous avons déjà cité à propos de la chromosphère, les travaux consacrés à la théorie du chauffage des couches extérieures de l'atmosphère solaire. Il ne nous reste donc à évoquer qu'un dernier problème théorique important, celui de l'expansion hydrodynamique de la couronne. Les mesures de plasma interplanétaire ont semblé donner raison à la conception de Parker, prévoyant des vitesses d'expansion de 300–500 km/sec au voisinage de la Terre, tout en suggérant une structure très hétérogène des extensions interplanétaires de la couronne. Noble et Scarf (25) montrent que pour une couronne isotrope les équations hydrodynamiques peuvent donner aussi bien les solutions 'rapides' de Parker que les solutions 'lentes' de Chamberlain, et que les deux types satisfont aux critères de stabilité. Une structure anisotrope paraîtrait plus réaliste. Parker a discuté les résultats de ces auteurs (26).

Mais il semble que nous ayons ici atteint les frontières asymptotiques du domaine de la Commission 12, aussi avons-nous renoncé à une analyse plus exhaustive de la littérature sur la question.

INSTRUMENTS

La nécessité d'observations meilleures et plus détaillées en physique solaire entraîne la construction sur terre et dans l'espace de nouveaux observatoires. Nous recevons de Voigt une brève description de la station solaire de Locarno (1): cette description est résumée dans le rapport de la Commission 9, sous le sous-titre "Observatory of the University of Göttingen".

Le télescope solaire géant de l'Observatoire de Kitt Peak est ainsi décrit par Pierce: 'The McMath Solar Telescope was dedicated 2 November 1962. A 63-inch fused quartz mirror serves as the heliostat feeding light to a 63-inch cast aluminum mirror of 289 feet focal length. This image-forming mirror is coated with 0.005 inch of Kanigen, ground and polished to a spherical surface and then aluminized. The light is sent about $1\frac{1}{2}^\circ$ off-axis to a 48-inch diameter fused-quartz flat which directs light into the Observing Room. The telescope is water cooled throughout. The upper portion is kept at ambient temperature, the lower 5 to 10 degrees F. cooler. The seeing is often better than 1 sec of arc with no visible internal seeing. However, on some occasions bad internal seeing is obtained for which the cause is not known.

The 45 feet focal length spectrograph is mounted in a vertical tank, 6 ft diameter, 65 ft long supported on an oil pressure pad. Provision is made for photo-electric scanning of the spectrum in double-pass by rotating the grating or for photography. The design of a spectroheliograph and a solar magnetograph is underway.

'Though the past year has been mainly spent in bringing the telescope into operation, nevertheless, a small observing program has been carried out.'

Il est clair, d'après le bref résumé de ce 'petit' programme d'observation communiqué par Pierce, que le télescope McMath est maintenant entré dans le stade de la production scientifique.

A Meudon, Wlérick a construit un nouveau laboratoire solaire équipé d'un télescope horizontal de 40 cm d'ouverture et d'un grand spectrographe à miroirs. L'instrument est parti-

culièrement conçu pour l'emploi des récepteurs photoélectriques et surtout de la caméra électronique de Lallemand-Duchesne. D'autre part, la construction d'une tour d'observation comportant un télescope solaire vertical de 60 cm d'ouverture et 45 mètres de focale a été entreprise.

Des spectrographes solaires avec double passage sur le réseau de manière à éliminer les 'ghosts' et la lumière diffuse ont été aménagés au Jungfrauoch (2) et à Poulkovo (3). Evans a décrit (4) un filtre polarisant à longueur d'onde variable conçu comme monochromateur auxiliaire pour un spectrographe à réseau (séparation des ordres et diminution de la lumière diffuse).

Divers perfectionnements du magnétographe photoélectrique, en particulier son emploi à la mesure des composantes transversale et longitudinale du champ (5) ont été signalées. Un nouveau magnétographe est en service à Poulkovo (6). Les questions de polarisation instrumentale ont été discutées par Bumba *et al.* (7), Jäger et Oetken (8).

Un nouveau coronographe équipé d'un spectrographe fixe a été décrit par Nikolsky *et al.* (9). Des coronographes améliorés où la lumière diffuse soit encore plus faible que dans l'instrument de Lyot sont nécessaires à la détection de la couronne solaire lointaine à bord de véhicules extra-atmosphériques. Les possibilités de coronographes par réflexion et avec apodisation sont décrites par Newkirk et Bohlin (10).

Signalons enfin que les coronomètres *K* pour la mesure de la couronne en lumière blanche se répandent dans de nombreux observatoires, tandis que les coronomètres pour la mesure des raies d'émission par modulation présentent des possibilités remarquables (11, 12).

R. MICARD

Président de la Commission

BIBLIOGRAPHIE

Références générales

1. *Nuovo Cimento Supplem.*, **22**, 1961.
2. *Mem. Soc. Sci. Liège*, 5^{ème} Sér., **4**, 1961.
3. *The Solar Corona*, Ed. J. W. Evans, Academic Press, 1963.
4. *Proceedings 3rd International Space Science Symposium*, Ed. W. Priester, North-Holland Publ. Co., 1963.
5. *Proceedings 4th International Space Science Symposium* (sous presse).
6. *J. Quant. Spectrosc. radiat. Transfer*, **3**, no. 2, 100, 1963.

Constante solaire. Photométrie du spectre continu solaire. Polarisation

1. Serkowski, K. *Lowell Obs. Bull.*, **5**, no. 11, 157, 1962.
2. " *Postepy astr. (Krakow)*, **10**, 83, 1962.
3. " *Postepy astr. (Krakow)*, **10**, 198, 1962.
4. Gallouët, L. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **256**, 4593, 1963; Thèse Univ. Paris, 1963.
5. Labs, D., Neckel, H. *Astrophys. J.*, **135**, 969, 1962.
6. " " *Z. Astrophys.*, **55**, 269, 1962.
7. " " *Z. Astrophys.*, **57**, 283, 1963.
- 7 bis " " *Astrophys. J.*, **138**, 296, 1963.
8. Peyturaux, R. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 668, 1961.
9. de Groot, T. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 181, 1962.
10. Gaustad, J. E., Rogerson, J. B. *Astrophys. J.*, **134**, 323, 1961.
11. Mädlow, M. *Astr. Nachr.*, **286**, 271, 1962.
12. David, K. H., Elste, G. *Z. Astrophys.*, **54**, 12, 1962.
13. Böhm, K. H. *Astrophys. J.*, **134**, 264, 1961.

14. Plaskett, H. H. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **123**, 541, 1962.
15. Maltby, P. *Astrophys. norveg.*, **7**, 89, 1960.
16. Michard, R. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 1494, 1962.
17. Leroy, J. L. *Ann. Astrophys.*, **25**, 127, 1962.
18. Débarbat, S. non encore publié.
19. Mattig, W., Schröter, E. H. *Z. Astrophys.*, **52**, 195, 1961.
20. Zwaan, O. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 225, 1962.

Atlas et tables du spectre de Fraunhofer. Identifications

1. Delbouille, L., Roland, G. *Mém. Soc. Roy. Sci. Liège*, vol. hors série no. 4, 1963.
2. Delbouille, L., Neven, L., Roland, G. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **3**, 163, 1963.
3. Houghton, T., et al. *Phil. Trans. Roy. Soc. London. ser. A*, **254**, no. 1037, 47, 1961.
4. Hughes, N. D. P., Moss, T. S. *Nature*, **189**, 908, 1961.
5. Brückner, G. *Abh. Akad. Wissens. Göttingen*, Math.-Phys. Klasse, Sonderband 5, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1960.
6. Rigutti, M. *Publ. Domin. Obs. Canada*, **25**, 19, 1962.
7. Rigutti, M., Drago-Chiuderi, F. *Ann. Astrophys.*, **26**, 253, 1963.
8. Houziaux, L. *Z. Astrophys.*, **53**, 237, 1961.
9. Garstang, R. H., Dawe, J. A. *Observatory*, **82**, 210, 1962.
10. Garstang, R. H. *Observatory*, **82**, 50, 1962.

Longueurs d'onde. Rotation. Circulation

1. Blamont, J. E., Roddier, F. *Phys. Rev. Letters*, **7**, 437, 1961.
2. Higgs, L. A. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 51, 1962.
3. Jorand, M. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 3739, 1961.
4. " *Ann. Astrophys.*, **25**, 57, 1962.
5. Kozhevnikov, N. I. Kliakotko, M. A. *Astr. Zu.*, **40**, 61, 1963.
6. " " *Astr. Zu.* **39**, 977, 1962.

Le spectre solaire dans l'extrême ultraviolet

1. Friedman, H. *Rep. Progr. Phys.*, **25**, 163, 1962.
2. " in 'Space Science', John Wiley & Sons, 1963.
3. Hinteregger, H. E. *Communic. Solar Spectrum Symposium*, Utrecht, 1963.
4. Tousey, R. *Space Sci. Rev.*, **2**, 3, 1963.
5. Neupert, W. M., Behring, W. E. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **2**, 527, 1962.
- 5 bis Behring, W. E., Neupert, W. M., Lindsay, J. C. *Report X-614-62-29*, Goddard Space Flight Center, 1962.
6. Neupert, W. M. *Communic. 4th Intern. Space Science Symposium, Varsovie*, 1963.
7. Tousey, R., Purcell, J. D., Austin, W. E., Garrett, D. L., Widing, K. G. *Communic. 4th Intern. Space Science Symposium*, Varsovie 1963.
8. Morton, D. C., Widing, K. G. *Astrophys. J.*, **133**, 596, 1961.
9. Hinteregger, H. E., Hall, L. A., Schweizer, W. *Astrophys. J.*, sous presse.
10. Pecker, C. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 1107, 1961.
11. Chubb, T. A. *Communic. Solar Spectrum Symposium*, Utrecht, 1963.
12. Detwiler, C. R., Garrett, D. L., Purcell, J. D., Tousey, R. *Ann. Geophys.*, **17**, 263, 1961.
13. Efremov, A. I., et al. *Iskusstven. Sputniki Zemli*, **10**, 3, 1961.
14. Mandelshtam, S. L., et al. *Iskusstven. Sputniki Zemli*, **10**, 12, 1961.
15. Bruns, A. V., Prokofev, V. K. *Iskusstven. Sputniki Zemli*, **11**, 15, 1961.
16. Mandelshtam, S. L., et al. *Iskusstven. Sputniki Zemli*, **11**, 3, 1963.
17. " *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **142**, 77, 1962.
18. Ivanov-Kholodny, G. S., Nikolsky, G. M. *Astr. Zu.*, **38**, 828, 1961.
19. " " *Solar Corona, Symposium UAI* no. 16.
20. " " *Geomagn. i Aeronom.*, **2**, 425, 1962.
21. Allen, C. W. *Mém. Soc. Sci. Liège*, 5^{ème} Sér., **4**, 241, 1961.

22. Pecker, C., Rohrlich, F. *Mém. Soc. Sci. Liège*, 5^{ème} Sér., **4**, 190, 1961.
23. " " *Mém. Soc. Sci. Liège*, 5^{ème} Sér., **4**, 266, 1961.
24. Pagel, B. E. J. *Planet. and Space Sci.*, **2**, 333, 1963.
25. de Jager, C. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, sous presse.

La photosphère : (a) Granulation. (b) Structures cinématiques et magnétiques

1. Bahng, J., Schwarzschild, M. *Astrophys. J.*, **134**, 312, 1961.
2. " " *Astrophys. J.*, **134**, 337, 1961.
3. Edmonds, F. N. *Astrophys. J. Suppl.*, **6**, no. 60, 357, 1962.
4. Böhm, K. H. *Z. Astrophys.*, **54**, 217, 1962.
5. Giovanelli, R. G. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **122**, 523, 1961.
6. de Jager, C. *Commun. astr. Inst. Univ. Brussels, ser. A*, no. 4, 1962.
7. Kerimbekov, M. B. *Soln. Dann. SSSR*, no. 9, 66, 1960.
8. Krat, V. A., Judina, I. V. *Soln. Dann. SSSR*, no. 9, 63, 1960.
9. Macris, C. J., Banos, M. G. *Mém. Obs. Nat. Athènes*, Sér. I, no. 8, 1961.
10. Macris, C. M., Prokakis, Th. *Mém. Obs. Nat. Athènes*, Sér. I, no. 10, 1963.
11. " " *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 1862, 1962.
12. Schröter, E. H. *Z. Astrophys.*, **56**, 183, 1962.
13. Leighton, R. B., *et al.* *Astrophys. J.*, **135**, 474, 1962.
14. Noyes, R. W., Leighton, R. B. *Astrophys. J.*, **138**, 631, 1963.
15. Evans, J. W., Michard, R. *Astrophys. J.*, **135**, 812, 1962.
16. " " *Astrophys. J.*, **136**, 493, 1962.
17. Evans, J. W., *et. al.* *Astrophys. J.*, **136**, 682, 1962.
18. " " *Ann. Astrophys.*, **26**, 368, 1963.
19. Servajean, R. *Ann. Astrophys.*, **24**, 1, 1961.
20. Bernière, G. *et al.*, *Ann. Astrophys.*, **25**, 279, 1962.
21. Edmonds, F. N. *Astrophys. J.*, **136**, 507, 1962.
22. Michard, R. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 4120, 1961.
- 22 bis Evans, J. W., Michard, R. *Astrophys. J.*, **136**, 487, 1962.
23. Jensen, E., Orrall, F. Q. *Astrophys. J.*, **138**, 252, 1963.
24. Krat, V. A. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 169, 2, 1961.
25. Vasileva, G. Ja. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 169, 39, 1961.
26. Krat, V. A. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 170, 2, 1962.
27. Teske, R. G. *Astrophys. J.*, **138**, 271, 1963.
28. Giovanelli, R. G., Jefferies, J. T. *Austr. J. Phys.*, **14**, 212, 1961.
29. Howard, R. *Astrophys. J.*, **136**, 211, 1962.
30. Semel, M. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **254**, 3978, 1962.
31. Pikelner, S. B. *Astr. Zu.*, **39**, 973, 1962.
32. Parker, E. N. *Symposium UAI no. 22, Rottach-Eggern*, 1963.
33. Kahn, F. D. *Astrophys. J.*, **134**, 343, 1961.
- 33 bis " *Astrophys. J.*, **135**, 547, 1962.
34. Bahng, J., Schwarzschild, M. *Astrophys. J.*, **137**, 901, 1963.
35. Noyes, R. W. *Dissert. Univ. Calif.* 1962; *Communication, Solar Spectrum Symposium*, Utrecht 1963.
36. Zirker, J. *Communication personnelle.*
37. Servajean, R. *Communication personnelle.*
38. Athay, R. G. *Astrophys. J.*, sous presse.
39. Mein, P. *Communication au colloque du Comité National Français d'Astronomie*, Paris, 1963.

La Photosphère: (c) Profils des raies de Fraunhofer

1. Waddell, J. *Astrophys. J.*, **136**, 223, 1962.
2. " " *Astrophys. J.*, **136**, 231, 1962.
3. " " *Astrophys. J.*, **137**, 1210, 1963.
4. David, K. H. *Z. Astrophys.*, **53**, 37, 1961.

5. White, O. R. *Astrophys. J. Suppl.*, **7**, no. 70, 335, 1962.
6. „ *Astrophys. J.*, **137**, 1217, 1963.
7. Schmidt, T. *Z. Astrophys.*, **53**, 273, 1961.
8. de Jager, C., Neven, L. *Communic. 12^{ème} Colloque Intern. Astrophys. Liège*, 1963.
9. Namba, O. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **17**, 93, 1963.
10. Beckers, J. M. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 133, 1962.
11. Gathier, P. J. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 128, 1962.
12. Mitrofanova, L. A. *Soln. Dann. SSSR*, no. 11, 73, 1960.
13. Kuliev, D. M. *Vestnik Leningrad. Univ.*, **7**, 155, 1963.
14. Mattig, W., Schröter, E. H. *Z. Astrophys.*, **52**, 195, 1961.
15. Olson, E. C. *Astrophys. J.*, **136**, 946, 1962.
16. Lefèvre, J., Pecker, J. C. *Ann. Astrophys.*, **24**, 238, 1961.
17. Brückner, G. *Z. Astrophys.*, **58**, sous presse.
18. Deubner, F. L. *Z. Astrophys.*, **56**, 1, 1962.
19. Kulander, J. *Thesis*, University of Colorado, 1963.

La Photosphère: (d) Théorie du spectre de Fraunhofer

1. Unsöld, A. *Z. Phys.*, **171**, 44, 1963.
2. Johnson, H. R. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **253**, 403, 1961.
3. „ *Ann. Astrophys.*, **25**, 30, 1962.
4. Gökdogan, N., Pecker, J. C., Hotinli, M. *Ann. Astrophys.*, **25**, 324, 1962.
5. Dubois-Salmon, A. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **254**, 1201, 1962.
6. Dubois-Salmon, A., Gökdogan, N., Pecker, J. C. *Notes Inf. Obs. Paris*, Fasc. XV, Astroph. no. 4, 1963.
7. Dumont, S., et al. *Ann. Astrophys.*, **24**, 328, 1961.
- 7 bis Gökdogan, N., Pecker, J. C. *Notes Inf. Obs. Paris*, fasc. X, Nov. 1962.
8. Cuny, Y. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 4111, 1961.
9. Athay, R. G. *Astrophys. J.*, **134**, 765, 1961.
10. Thomas, R. N. *Astrophys. J.*, **137**, 38, 1963.
11. Unno, W., Yamashita, Y. *Solar Spectrum Symposium*, Utrecht, 1963.
12. Thomspson, G. I. *Vistas in Astronomy*, **5**, 58, 1962.
13. Wilson, P. R. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **123**, 287, 1962.
14. „ *Month. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 383, 1962.
15. „ *Astrophys. J.*, **137**, 606, 1963.
16. Giovanelli, R. G. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 221, 1962.
17. Wilson, P. R. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 231, 1962.
18. Rachkovsky, D. N. *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **26**, 63, 1961.
19. „ *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **27**, 148, 1962.
20. Stepanov, V. E. *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **28**, 252, 1962.

La Photosphère: (e) Abondances des éléments

1. Müller, E. A., Mutschlecner, J. P. *Astrophys. J. Suppl.*, sous presse.
2. Leftus, V. *Bull. astr. Inst. Csl.*, **14**, 155, 1963.
3. Faulkner, D. J., Mugglestone, D. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 11, 1962.
4. Andrews, M., Mugglestone, D. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 347, 1963.
5. O'Mara, B. J., Mugglestone, D. *Month. Not. R. astr. Soc.*, sous presse.
6. O'Mara, B. J. *Thèse*, University of Queensland, 1963.
7. Khokhlov, M. Z. *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **26**, 52, 1961.
8. de Jager, C., Neven, L. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 307, 1962.
9. Helliwell, T. M. *Astrophys. J.*, **133**, 566, 1961.
10. Kachalov, V. P. *Astr. Zu.*, **39**, 977, 1962.
11. Aller, L. H. *Astr. J.*, **67**, 571, 1962.
12. Goldberg, L. *Astrophys. J.*, **136**, 1154, 1962.
13. Righini, G. *Ric. Scient. Roma, Ser. 2*, **3**, 145, 1963.

La Photosphère: (f). Modèles et théorie de la photosphère et de la zone convective

1. Holweger, H., Unsöld, A. *Z. Astrophys.*, **57**, 235, 1963.
2. Madlow, M. *Z. Astrophys.*, **55**, 29, 1962.
3. Andrews, M., Mugglestone, D. *Astrophys. J. Suppl.*, **6**, no. 63, 1962.
4. Böhm, K. H. *Astrophys. J.*, **137**, 881, 1963.
5. „ *Z. Astrophys.*, **57**, 265, 1963.
6. Whitney, C. A. *Astrophys. J.*, **138**, 537, 1963.
7. Parker, E. N. *Astrophys. J.*, **138**, 552, 1963.

La chromosphère: (a) Spectrophotométrie

1. Martynov, D. A. *Astr. Zu.*, **38**, 443, 1961.
2. Hiei, E. *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 277, 1963.
3. Houtgast, J. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 115, 1962.
4. Martynov, D. A., Alduseva, V. Ja. *Astr. Zu.*, **38**, 593, 1961.
5. Bolokadze, R. D. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 169, 45, 1961.
6. Houtgast, J., Koelbloed, D. *J. Quant. Spectrosc. radiat. Transfer*, **3**, 173, 1963.
7. Mouradian, Z. *Communic. Symposium Liège*, 1963.
8. Gulaiev, R. A. *Soln. Dann. SSSR*. no. 2, 66, 1963.
9. Suemoto, Z. *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 1963, sous presse.
10. White, O. R. *Astrophys. J.*, sous presse.
11. Tandberg-Hanssen, E. *Astrophys. J. Suppl.*, sous presse.

La chromosphère: (b) Spicules et structures chromosphériques

1. Mouradian, Z. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 3372, 1962.
2. Suemoto, Z., Hiei, E. *Publ. astr. Soc. Japan*, **14**, 33, 1962.
3. Athay, R. G. *Astrophys. J.*, **134**, 756, 1961.
4. Zirker, J. B. *Astrophys. J.*, **136**, 250, 1962.
5. „ *Astrophys. J.*, **135**, 515, 1962.
6. Krat, V. A., Krat, T. V. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 167, 6, 1961.
7. Cragg, T., Howard, R., Zirin, H. *Astrophys. J.*, **138**, 303, 1963.
8. Beckers, J. M. *Astr. J.*, **68**, 273, 1963.
9. „ *Astrophys. J.*, **138**, 1963, sous presse.
10. Tsap, T. T. *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **26**, 45, 1961.
11. Macris, C. M. *Mem. Soc. astr. Ital.*, **33**, 85, 1962.
12. „ *Communic. 7^{ème} Réunion Soc. astr. Ital. Milano*, 1962, sous presse.

La chromosphère: (c) Théorie du spectre chromosphérique et de la chromosphère

1. Sobolev, V. M. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 167, 52, 1961.
2. Kononovitch, E. V. *Astr. Zu.*, **38**, 218, 1961.
3. Schalaev, Yu. V. *Astr. Zu.*, **38**, 997, 1961.
4. Jefferies, J. T., Orrall, F. Q. *Astrophys. J.*, **137**, 1232, 1963.
- 4 bis Jefferies, J. T. *Communic. Solar Spectrum Symposium*, Utrecht, 1963.
5. Athay, R. G., House, L. L. *Astrophys. J.*, **135**, 500, 1962.
6. Athay, R. G., Zirker, J. B. *Astrophys. J.*, **136**, 249, 1962.
7. Matveeva, M. V. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 170, 59, 1962.
8. Khokhlova, V. L. *Astr. Zu.*, **39**, 1127, 1962.
9. Obridko, V. N. *Astr. Zu.*, **40**, 446, 1963.
10. Ivanov-Kholodny, G. S., Nikolsky, G. M. *Astr. Zu.*, **38**, 45, 1961.
11. „ *Astr. Zu.* **39**, 777, 1962.
12. Gulaiev, R. A., Nikolskaja, K. I., Nikolsky, G. M. *Astr. Zu.*, **40**, 433, 1963.
13. Moriyama, F. *Ann. Tokyo, astr. Obs.*, 2nd ser., **7**, 127, 1961.
14. Suemoto, Z., Moriyama, F. *Communic. 3^{ème} Symposium Sciences Spatiales*, Ed. J. W. Priest, North-Holland Publ. Co., 1963.

15. Koyama, S. *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 15, 1963.
16. Namba, O. *Proc. Acad. Amsterdam*, **64**, 713, 1961.
17. Osterbrock, D. E. *Astrophys. J.*, **134**, 347, 1961.
18. Holweger, H. *Z. Astrophys.*, **56**, 269, 1963.
19. Unsöld, A. *Z. Astrophys.*, **52**, 300, 1961.
20. Uchida, Y. *Publ. astr. Soc. Japan*, **13**, 321, 1961.
21. „ *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 1963, sous presse.
22. de Jager, C., Kuperus, M. *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **16**, 71, 1962.
23. Vasileva, G. Ja. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 170, 18, 1962.
24. Souffrin, S. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 1438, 1962.

La couronne: (a) Spectre continu

1. Waldmeier, M. *Z. Astrophys.*, **51**, 286, 1961.
2. „ *Z. Astrophys.*, **53**, 81, 1961.
3. Widmer, G. *Astr. Mitt. Zürich*, no. 254, 1963.
4. Dolginova, Yu. N. *Geomagn. i Aeronom.*, **1**, 646, 1961.
5. Gits, I. D. *Astr. Zu.*, **38**, 474, 1961.
6. Saito, K., Yamashita, Y. *Ann. Tokyo astr. Obs.*, **7**, 163, 1962.
7. Hiei, E. *J. Phys. Soc. Japan*, **17**, Suppl. A-II, 227, 1962.
8. Hack, M., Fracassini, M. *Atti Accad. naz. Lincei, R.C. Cl. Sci. fis. mat. nat.*, **30**, 497, 1961.
9. Fracassini, M., Hack, M. *Contr. Oss. astr. Milano-Merate, Nuova Ser.*, no. 197, 1962.
10. Waldmeier, M. *Z. Astrophys.*, **55**, 187, 1962.
11. Dumont, R., Rousseau, M. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 2675, 1961.
12. Sharonov, V. V. *Astr. Cirk. Akad. Nauk SSSR*, no. 223, 1961.
13. Martynchuk, N. A., Prokofeva, V. V. *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **28**, 288, 1962.
14. Vsekhsvyatsky, S. K., Ivanchuk, V. I. *Astr. Zu.*, **38**, 593, 1961.
15. Shilova, N. S. *Geomagn. i Aeronom.*, **1**, 650, 1961.
16. Waldmeier, M. *Z. Astrophys.*, **57**, 212, 1963.
17. „ *Z. Astrophys.*, **56**, 291, 1963.
18. Nesmjanovich, A. T. *Astr. Zu.*, **39**, 270, 1962.
19. von Klüber, H. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **123**, 61, 1961.
20. Avignon, Y., Le Squeren, A. M. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **253**, 2859, 1961.
21. Molchanov, A. P. *Trud. astr. Obs. Leningrad. gos. Univ.*, no. 20, 1963.
22. Korolkov, D. V., Soboleva, N. S. *Astr. Zu.*, **38**, 647, 1961.
23. Tolbert, C. W., Straiton, A. W. *Astrophys. J.*, **135**, 822, 1962.
24. Drago, F., Noci, G. *Ricerc. scientif. Suppl.*, **1**, no. 2, 90, 1962.
25. Slee, O. B. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **123**, 223, 1961.
26. Godoli, G. *Contrib. Osserv. astrofis. Arcetri*, no. 80, 1963.
27. „ *Atti Accad. naz. Lincei, R.C.*, **34**, 1963, sous presse.

La couronne: (b) Spectre d'émission

1. Aly, M. K., Evans, J. W., Orrall, F. Q. *Astrophys. J.*, **136**, 956, 1962.
- 1 bis Aly, M. K., Evans, J. W., Orrall, F. Q. 'A spectrographic atlas of the solar corona from λ 3300 to λ 6900', en préparation.
2. Aly, M. K., Evans, J. W., Orrall, F. Q. *Astrophys. J.*, **137**, 1232, 1963.
3. Fehrenbach, C., Wlérick, G. *Communic. Symposium UAI no. 16. Cloudcroft*, 1961. Academic Press, N.Y., 1963.
4. Kurt, V. G. *Astr. Zu.*, **39**, 439, 1962.
5. Rigutti, M., Russo, D. *Z. Astrophys.*, **57**, 197, 1963.
6. „ „ *Z. Astrophys.*, **58**, 153, 1964.
7. Firor, J., Zirin, H. *Astrophys. J.*, **135**, 122, 1962.
8. Billings, D. E., Lehman, R. C. *Astrophys. J.*, **136**, 258, 1962.
- 8 bis Billings, D. E. *Astrophys. J.*, **137**, 592, 1963.
9. Dollfus, A. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 3369, 1962.
10. Yallop, B. D. *Observatory*, **81**, 235, 1961.

11. Cooper, R. H., Billings, D. E. *Z. Astrophys.*, **55**, 24, 1962.
12. Waldmeier, M. *Z. Astrophys.*, **55**, 200, 1962.
13. Nishi, K., Nakagomi, N. *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 57, 1963.
14. Charvin, P. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **256**, 1078, 1963.
15. Prokofyeva, I. A. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 169, 9, 1961.
16. Shpitalnaja, A. A. *Soln. Dann. SSSR*, no. 4, 81, 1962.
17. Gnevyshev, M. N. *Astr. Zu.*, **40**, 401, 1963.
18. Pecker, C. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **257**, 613, 1963.
19. Pecker, C., Rohrlich, F. *Mém. Soc. R. Sci. Liège*, 5^{ème} Sér., tome IV, 1961.

La couronne: (c) Théorie du spectre coronal et de la couronne

1. Seaton, M. J. *Planet. and Space Sci.*, sous presse.
2. " *Observatory*, **82**, 11, 1962.
3. Nikolsky, G. M. *Geomagn. i Aeronom.*, **3**, 417, 1963.
4. Athay, R. G., Hyder, C. L. *Astrophys. J.*, **137**, 21, 1963.
5. Pecker, C., Thomas, R. N. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **252**, 3000, 1961.
6. " " *Ann. Astrophys.*, **25**, 100, 1962.
7. " " *J. Quant. Spectrosc. radiat. Transfer*, **3**, 163, 1963.
8. " " *Astrophys. J.*, **137**, 967, 1963.
9. Blaha, M. *Bull. astr. Inst. Csl.*, **13**, 81, 1962.
10. Van Regemorter, H. *Astrophys. J.*, **136**, 906, 1962.
11. Bely, O. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **254**, 3167, 1962.
12. Seaton, M. J. *Proc. phys. Soc. Lond.*, **79**, 1105, 1962.
13. Garstang, R. H. *Ann. Astrophys.*, **25**, 109, 1962.
14. Kurt, V. G. *Astr. Zu.*, **39**, 792, 1962.
15. Dumont, J. P., Perche, J. C. *Communic. 12^{ème} Coll. Intern. Astrophys. Liège*, 1963.
16. Pottasch, S. R. *Month. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 543, 1963.
17. " *Month. Not. R. astr. Soc.*, sous presse.
18. " *Astrophys. J.*, **137**, 945, 1963.
19. Jefferies, J. T., Pecker, C. W., Thomas, R. N. *Astrophys. J.*, **135**, 653, 1962.
20. Nikolsky, G. M. *Geomagn. i Aeronom.*, **3**, 417, 1963.
21. Mustel, E. R. *Astr. Zu.*, **39**, 418, 1962.
- 21 bis " *Astr. Zu.*, **39**, 619, 1962.
22. Lüst, R., Meyer, F., Treffitz, E., Biermann, L., *Z. Naturforsch.*, **17a**, 259, 1962.
23. Mogilevsky, E. I. *Geomagn. i Aeronom.*, **2**, 1041, 1962.
24. Shtilshtein, G. M. *Astr. Zu.*, **38**, 463, 1961 et **40**, 487, 1963.
25. Noble, M., Scarf, F. L. *J. geophys. Res.*, **67**, 4577, 1962.
26. Parker, E. N. *J. geophys. Res.*, **68**, 1769, 1963.

Instruments

1. Brückner, G. *Z. Astrophys.*, **58**, 73, 1963.
2. Delbouille, L., Neven, L., Roland, G. *J. Quant. Spectrosc. radiat. Transfer*, **3**, 169, 1963.
3. Karpinsky, V. N. *Soln. Dann.*, no. 1, 70, 1961; no. 7, 73, 1961; no. 1, 68, 1963.
4. Evans, J. W. *Appl. Opt.*, **2**, 193, 1963.
5. Stepanov, V. E., Severny, A. B. *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **28**, 166, 1962.
6. Kotlyar, L. M. *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **22**, no. 167, 95, 1961; no. 169, 52, 1961.
7. Bumba, V., Topolova-Ruzickova, B. *Bull. astr. Inst. Csl.*, **13**, 95, 1962.
8. Jäger, F. W., Oetken, L. *Publ. astrophys. Obs. Potsdam*, **31**, no. 1, 1963.
9. Nikolsky, G. M., et al. *Geomagn. i Aeronom.*, **2**, 532, 1962.
10. Newkirk, G., Bohlin, D. *Appl. Opt.*, **2**, 131, 1963.