

LE DOMAINE INFRA-ROUGE EN SPECTROSCOPIE ASTRONOMIQUE (*)

1. La nécessité d'une étude approfondie de la région infra-rouge du rayonnement des astres s'est imposée de plus en plus en ces derniers temps. Des travaux de physique expérimentale et d'astrophysique théorique ont montré que le domaine infra-rouge peut nous fournir de nombreux renseignements importants et que le moment est arrivé de faire un effort dans cette voie relativement peu explorée. Déjà, de nouvelles plaques infra-rouges permettent d'atteindre $1 \mu, 35$; mais pour les longueurs d'onde plus grandes, il faut recourir soit au bolomètre ou à la pile thermo-électrique, soit à la technique évaporographique. Pour atteindre les étoiles, de puissants instruments seront nécessaires ; mais il reste encore énormément à faire dans le cas du soleil et des planètes brillantes et ce domaine est accessible à des institutions modestes ne disposant que de ressources financières très limitées et de peu de personnel.

Le but de cette note est de donner une mise au point condensée de l'état actuel du problème et d'indiquer l'effort qu'a tenté, dans cette voie, l'Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège.

2. En dehors même du domaine purement spectroscopique, la photographie astronomique dans l'infra-rouge proche fournit des documents très précieux dont nous nous contenterons de citer seulement quelques exemples.

Partant du fait que les radiations rouges et infra-rouges sont beaucoup moins diffusées que celles du domaine photographique ordinaire, Baade¹⁾ a photographié des régions obscurcies du ciel, à travers des écrans rouges, spécialement dans la direction du centre galactique. Les clichés ont révélé dans plusieurs cas, des nombres beaucoup plus grands d'étoiles, des différences marquées dans l'aspect des nuages obscurs et la présence d'amas globulaires ou de nébuleuses à peine visibles sur des photos en lumière bleue. Par exemple, N. G. C. 6357 qui ne montre que quelques traces sur des photographies ordinaires, se manifeste en lumière rouge comme un objet très étendu, de dimensions comparables à celles de la nébuleuse d'Orion ou de Messier 8.

(*) Conférence faite à la séance du 20 mai 1939 de la Société Belge d'Astronomie.

En fait cependant, Baade est encore limité par un voile de fonds, dû vraisemblablement aux raies aurales rouges de l'atmosphère terrestre ; il serait donc intéressant d'utiliser des émulsions photographiques et des filtres tels que ces radiations aurales rouges soient coupées. Beaucoup de résultats importants seraient certainement obtenus en continuant les recherches de Baade et aussi en les étendant à un domaine plus lointain de l'infra-rouge photographique. Nous devons rapprocher de ces travaux, ceux d'O. Struve²⁾ concernant les nébulosités rougeâtres.

Nous voudrions aussi mentionner les beaux travaux de C. Hetzler³⁾ qui ont pour but la découverte d'étoiles infra-rouges, c'est-à-dire d'étoiles dont les magnitudes bleues et infra-rouges diffèrent de plus de 5 magnitudes. Notons son étude sur les étoiles rouges variables.

Les clichés de Hetzler sont pris dans les régions de 8500 et de 9500 Å. La variation de l'indice de couleur avec la phase de la variable dépend de la longueur d'onde ; c'est ainsi qu'on trouve pour une variable $m_{\max.} - m_{\min.} = 1,4$ en 9500 Å ;

2,4 en 8500 Å ;

4,6 dans le visible.

Il semble d'ailleurs que les phénomènes observés peuvent être expliqués en tenant compte de la variation d'intensité des bandes moléculaires (ici surtout Ti O et Zr O) et de la loi du déplacement de Wien (corps noir).

Il faut encore citer les mesures de color-index de Bennett⁴⁾, Whitford⁵⁾ et J. S. Hall⁶⁾. Signalons notamment les mesures de Hall concernant la composante « infra-rouge » de la binaire ϵ Aurigae ; celles-ci ont montré⁷⁾ que, même pour cette étoile « infra-rouge » dont la température est très basse ($\sim 1200^\circ$) et le rayon très grand, la relation moyenne masse-luminosité est encore vérifiée, du moins approximativement.

3. A l'heure actuelle, le spectre du soleil dans le domaine infra-rouge photographique a été mesuré jusqu'à la longueur d'onde 13.376 Å.

Dès 1921, F. S. Brackett⁸⁾ trouve entre 9.000 et 9.900 Å, 14 raies dues au fer et une ou deux raies dues au nickel et dès 1929, H. D. Babcock⁹⁾ réussit à photographier la région 10.000 à 11.000 Å. En 1934, H. D. Babcock, C. E. Moore et C. C. Kiess¹⁰⁾ signalent

la présence du phosphore par des raies situées entre 9175 et 10205 Å. La même année, C. E. Moore et H. D. Babcock¹¹⁾ attribuent au soufre, les raies 10.455,47 (4^3S^0 — 4^3P), 10.456,79, 10.459,46, 11.453, 11.464, 11.472 Å, grâce aux raies antérieurement connues 9212, 9228 et 9237. De 1934 date aussi un ouvrage de W. Baumann et R. Mecke fournissant les longueurs d'onde du spectre solaire de 7.000 à 10.000 Å¹²⁾.

Un travail particulièrement intéressant a paru en 1936. H. D. Babcock, C. E. Moore et W. P. Hoge¹³⁾ publient une table donnant 249 lignes, dont 142 sont telluriques. Même pour $\lambda > 10.000$ Å, la précision est environ $1/10^6$.

Ces auteurs ont effectué des mesures interférométriques de raies standards jusque 10.603 Å (en partant de la bande A de l'oxygène atmosphérique, déterminée à partir de standards Néon). Avec le réseau concave seul, des standards provisoires ont ensuite été mesurés jusque 12.103 Å (par la méthode des ordres qui se superposent, à partir de standards solaires adoptés dans la région visuelle. Notons qu'une partie du travail précédent avait été effectué par Babcock¹⁴⁾ en 1927 mais la découverte de plaques sensibles jusque $1,2 \mu$ a permis de perfectionner la méthode.

Plus récemment, d'importantes contributions ont encore été apportées par C. E. Moore¹⁵⁾ (identifications de raies de Li, Rb,...) et par B. Edlén¹⁶⁾ (identification de l'azote atomique, montrant des raies de potentiel d'excitation extrêmement élevé). Signalons encore le travail de P. Rood et R. A. Sawyer¹⁷⁾ qui, utilisant une décharge puissante dans la vapeur de sodium, ont pu mesurer par voie photographique ou thermoélectrique, le spectre du sodium jusque λ 12679.0 (3^2D — 5^2F^0) et identifier ainsi une série de raies solaires, notamment 12680.40, 10834.01, 9961.38, 9465.98, 9154, 8943.06 et 8796.49.

En 1938, C. W. Allen¹⁸⁾ a continué ses mesures d'intensité pour 188 raies d'absorption situées entre 8800 et 11.830 Å.

Tout récemment des valeurs préliminaires des longueurs d'onde solaire ont été mesurées au Mt Wilson¹⁹⁾ jusqu'à 13.376 Å.

R. S. Richardson et R. Minkowski²⁰⁾ viennent d'étudier le spectre d'éruptions chromosphériques brillantes de 3.300 à 11.500 Å. Dans l'infra-rouge, ils mettent en évidence les raies 10830 de He, 10938,12 et 10049,39 de H et le triplet de Ca II. Cette étude est spécialement importante pour le problème de l'ionisation atmosphérique.

Il faut également souligner l'intérêt que présente l'étude du domaine infra-rouge en vue de l'interprétation du spectre de raies de la couronne solaire. Malgré toutes les nombreuses tentatives²¹), aucune raie coronale n'est actuellement identifiée ; il est important de rechercher les corrélations existant entre les raies, et, à ce point de vue, le domaine infra-rouge est très utile. Chaque expédition d'éclipse solaire essaie de photographier cette région. Comme la diffusion atmosphérique suit la loi de Rayleigh, l'observation de la couronne en dehors des éclipses est particulièrement fructueuse pour les grandes longueurs d'onde : en 1936, Lyot a découvert les raies $\lambda\lambda$ 7891,94 - 8024,21 - 10746,80 et 10797,95 Å.²²).

4. Dans une série de travaux commencés en 1880, Langley puis Abbot ont étudié la région $0,76 \mu$ à 5μ à l'aide du bolomètre et de spectromètre à prisme de verre ou de sel gemme²³). Abbot est parvenu à enregistrer le spectre solaire de $0,4$ à $5,3 \mu$ en 11 minutes.

Ces observateurs signalent la présence de plusieurs bandes d'absorption qui ont été résolues en de nombreuses raies. En dehors de Langley et d'Abbot, Julius et Arrhénius ont concouru à leurs identifications. La plupart des bandes ont été attribuées à certains constituants de l'atmosphère, surtout à H_2O et CO_2 .

Un examen des enregistrements de Langley et d'Abbot montre que cette étude doit être reprise en employant un spectrographe beaucoup plus dispersif.

5. Le couple thermoélectrique a permis l'enregistrement du spectre solaire jusqu'à $13,5 \mu$, limite de transmission de notre atmosphère. De nombreux travaux ont été publiés à ce sujet.^{24 à 28}) Les molécules qui sont essentiellement responsables de l'absorption tellurique dans l'infra-rouge se sont révélées être H_2O , CO_2 et O_3 .

Un enregistrement du spectre solaire à faible dispersion manifeste surtout les faits suivants dans le domaine de 5 à $13,5 \mu$:

- a) de 5 à $7,7 \mu$, des bandes dues à H_2O ;
- b) en $7,6 \mu$, une bande due à $N_2O_5^*$ (Adel et Lampland, 1938) ;
- c) quelques faibles bandes entre $7,2$ et $8,5 \mu$ qui sont peut-être dues à la molécule N_2O (Adel, 1938) ;

*) Un Calcul approché montre qu'il y a environ une molécule de N_2O_5 pour cent, d'Ozone.

- d) de 9 à 10 μ , des bandes dues à O_3 ;
- e) par temps humide, diverses bandes de 6.3 à 13 μ , dues sans doute à la vapeur d'eau (Adel, 1939) ;
- f) en 11.7 μ , une bande (q_1) manifestant une forte corrélation avec la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère et par conséquent due sans doute à H_2O ;
- g) en 12.65 μ , une autre bande (q_2) d'abord attribuée à CO_2 par Adel (1938), mais manifestant aussi une forte corrélation avec la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère et, par conséquent, due au moins en partie à H_2O^* ;
- h) de 10 à 13.5 μ , on observe une décroissance régulière du fonds continu avec superposition de bandes faibles, dont l'allure globale concorde bien avec les bandes de CO_2 (Adel et Lampland).

Au delà de 13,5 μ , le spectre est arrêté par la bande intense de CO_2 . A 15 μ , l'absorption est due à O_3 . A partir de 17 μ , les radiations solaires sont absorbées par H_2O .

Notons que la proportion des radiations reçues de 8 à 15 μ représente au plus 0,2 % de l'énergie solaire totale.

L'étude de la région 9 à 10 μ a permis de discuter la forme de la molécule O_3 .²⁵⁾

Avec un spectromètre prisme-réseau, à grand pouvoir séparateur, 101 raies ont été observées de 7,7 à 11 μ .²⁶⁾ Elles sont probablement dues à H_2O . Pour séparer les raies telluriques des raies solaires, il suffirait de prendre plusieurs spectres correspondant à différentes hauteurs du soleil. Mais le spectromètre que nous venons de mentionner n'est pas à enregistrement automatique. Il nécessite le travail « par points », méthode extrêmement lente. Entre le lever et le coucher du soleil, seule une petite partie du spectre peut être obtenue.

En résumé, on peut dire que le spectre solaire infra-rouge de 1.34 à 13.5 μ , obtenu à faible dispersion, ne révèle que l'absorption tellurique et est interprété de façon très satisfaisante. En revanche, la « partie solaire » du spectre est encore complètement inconnue ; on arrivera à la connaître par l'emploi d'un spectrographe auto-enregistreur à grande dispersion. C'est essentiellement en vue de ce pro-

*) Des bandes ont d'ailleurs été observées en q_1 et q_2 dans le spectre d'absorption de la vapeur d'eau par L. R. Weber et H. M. Randall, Phys. Rev., 40, 835, 1932.

blème que nous avons étudié la construction et l'installation d'un instrument nouveau qui sera décrit plus loin.

6. Les recherches que suggère le domaine infra-rouge, dans le cas du Soleil et de la Terre, réservent d'heureux résultats. Nous ne nous attarderons pas à montrer l'intérêt que présentent des études plus approfondies de la répartition de l'énergie solaire en dehors de notre atmosphère²⁹⁾ et du rayonnement de la Terre dans l'espace. Nous voudrions surtout attirer l'attention sur une question actuellement à l'étude à Liège, tant du point de vue théorique que du point de vue pratique : c'est celle de l'obscurcissement au bord du disque solaire dans le domaine infra-rouge et de ses relations avec la question de l'abondance relative de l'hydrogène et des métaux.

On sait que l'abondance relative de l'hydrogène et des métaux est actuellement une question d'une importance capitale non seulement pour l'étude des conditions d'ionisation et de dissociation dans les atmosphères stellaires, mais encore pour celles des amas stellaires, de la constitution interne des astres, etc. Pour arriver à connaître cette abondance relative, on dispose, dans le cas des étoiles, du spectre continu, des profils de raies d'absorption, de l'évolution de l'intensité des diverses raies atomiques en fonction du type spectral et de la magnitude absolue, etc. Dans le cas du soleil, on doit encore y ajouter la variation des profils de raies en fonction de la distance au centre du disque*) et l'obscurcissement au bord du disque (« limb-darkening »). Les théories de ces divers phénomènes montrent qu'un des facteurs importants dans toutes les intégrations est la variation du coefficient d'absorption continue k en fonction de la longueur d'onde et de la profondeur au sein de l'atmosphère. Ce coefficient k est la somme des coefficients dus aux divers atomes et molécules : il introduit donc les abondances relatives des éléments.

A l'heure actuelle, on est encore loin d'être arrivé à des valeurs concordantes du rapport des abondances $\frac{\mu_{\text{H}}}{\mu_{\text{métaux}}}$, puisque Russell, Pannekoek, Minnaert et d'autres auteurs encore adoptent la valeur 1000/1, alors qu'Unsöld et ses collaborateurs admettent 14/1.

*) notamment l'étude des profils à l'extrême bord, au moment des éclipses solaires.

Il paraît donc utile de réunir le plus possible de documents d'observation dans ce domaine. On obtiendra notamment des résultats importants en étendant l'examen de l'obscurcissement au bord du disque solaire, dans le domaine infra-rouge. Les observations existantes ne portent de façon précise que de 4000 à 7000 Å ; nous espérons les étendre assez loin dans l'infra-rouge. Minnaert a montré³⁰⁾ que les observations du domaine 4000-7000 sont compatibles avec l'abondance élevée 1000/1 en hydrogène ; mais, d'après une théorie du phénomène, que nous ne développerons pas ici, la variation de l'obscurcissement dans l'infra-rouge paraît particulièrement bien adaptée à la discussion du problème.

7. L'étude du rayonnement infra-rouge des planètes est aussi du plus haut intérêt*).

L'interprétation des spectres planétaires, photographiés dans le visible et le proche infra-rouge (jusque $1\ \mu$ pour certaines planètes³¹⁾ a déjà donné de beaux résultats. C'est ainsi que du méthane a été découvert dans les atmosphères de Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, de l'ammoniac, dans celles de Jupiter et de Saturne et de l'anhydride carbonique dans celle de Vénus.^{32) 33) 34)}

Pour les longueurs d'onde plus grandes que $1\ \mu$, on a eu recours jusqu'ici à des écrans qui permettent d'isoler, en particulier, les régions μ : 0,3 — 1,4 ; 1,4 — 4,1 ; 4,1 — 8 ; 12,5 — 15. Une partie du rayonnement planétaire est concentré sur un bolomètre ou un couple thermo-électrique. On compare les élongations du galvanomètre obtenues avec et sans interposition d'écrans. L'emploi d'une cuve à eau d'un centimètre d'épaisseur se présente comme très pratique. Elle arrête les radiations de longueurs d'onde supérieures à $1,4\ \mu$. Si l'élongation obtenue avec la cuve est du même ordre que celle de la radiation directe, on peut conclure, dans les limites de sensibilité du récepteur, qu'il n'existe pas de rayonnement infra-rouge de longueur d'onde plus grande que $1,4\ \mu$.

Cette méthode a surtout été appliquée par Coblentz, Pettit et Nicholson. Ces auteurs signalent pour Vénus, Mercure, Mars et Saturne (ainsi que pour la lune) un rayonnement infra-rouge important. Pour Jupiter, la transmission de la cuve à eau concorde pratiquement avec celle de la radiation solaire. Jusqu'ici Uranus n'a

*) Il en serait d'ailleurs de même de l'étude des spectres infra-rouges de comètes.

pas montré de rayonnement infra-rouge d'origine planétaire.

La méthode des écrans a été appliquée à la détermination de la température des planètes mais, dans certains cas, les résultats sont très incertains.

L'emploi d'un spectrographe s'impose pour une étude approfondie. Ce procédé, rejeté voici quelques années par suite du peu de lumière reçue des planètes, est actuellement applicable vu la construction de réseaux à grande surface et les progrès réalisés a) dans la sensibilité des plaques photographiques b) dans la construction des couples thermo-électriques, des galvanomètres et des amplificateurs de courant.

En dehors même des bandes fondamentales de CH_4 et NH_3 , le domaine infra-rouge permettrait de déceler d'autres molécules polyatomiques qui éventuellement se trouveraient dans les atmosphères planétaires. D'après les travaux de G. Herzberg³⁵), on devrait aussi s'attendre à trouver dans les spectres infra-rouges des grosses planètes, les bandes interdites de vibration-rotation de H_2 et de N_2 qui, étant donné la basse température de ces astres, se réduiraient à quelques raies étroites, voisines de l'origine des bandes ; leur détection exige une grande dispersion. Pour toutes ces molécules, de bonnes mesures photométriques seraient utiles.

8. En ce qui concerne le rayonnement infra-rouge des étoiles, il faut d'abord citer P. W. Merrill³⁶) qui a photographié des spectres stellaires jusque 9.800 Å. Il signale une région claire (sans raie tellurique) de 8320 à 8900 Å. De nombreuses raies ont été observées, notamment la longue série de Paschen. Citons encore, comme exemples, les raies de H, NI, FeII, MgII, OI, CaII dans P. Cygni. Pour les spectres moléculaires de classes M et N, les nombreuses bandes observées ont été interprétées par Wurm³⁷). Signalons la comparaison entre les raies H et K (3968 - 3933 Å) et le triplet 8662 - 8498 - 8542 Å de Ca^+ . Dans β Orionis (c B 8), H et K sont intenses alors que les raies infra-rouges sont à peine visibles. Dans α Scorpii et α Orionis (rouges supergéantes), le triplet infra-rouge est plus intense que H et K. Il serait utile de faire une étude photométrique de ces deux groupes de raies. L'effet est intéressant et est vraisemblablement dû à ce que le niveau inférieur du triplet infra-rouge est métastable, alors que le niveau inférieur des raies H et K constitue l'état normal de l'atome ; il se présente donc un effet d'enrichissement du niveau métastable, dans une atmosphère très

étendue, par suite de la dilution du rayonnement.

En vue de faire une comparaison des types plutôt rares R, N, S et M, Wildt³⁸⁾ a étudié des spectres stellaires à faible dispersion de 3000 à 9000 Å. Pour la région rouge, il a employé des Agfa I-R Rapid 850.

Jamais les spectres stellaires n'ont été photographiés au delà de 9800 Å. Actuellement certaines émulsions spéciales permettraient d'étendre les observations.

Malgré la faiblesse des radiations, Abbot³⁹⁾ a étudié certains spectres jusqu'à 2,24 μ , au moyen d'un spectromètre à miroirs et à prisme de flint et d'un récepteur extrêmement sensible. Ceci lui a permis de déterminer, avec une bonne précision, quelques températures stellaires.

Au delà de 2,2 μ , on a eu recours à des écrans. Par ce moyen, Coblentz a déterminé plusieurs températures d'étoiles. Les résultats sont beaucoup moins aléatoires que pour les planètes. En effet, l'application des formules du rayonnement du corps noir se justifie mieux. De plus, il ne faut plus s'occuper de l'énergie solaire réfléchie et de l'absorption par l'atmosphère de l'astre.

L'étude de l'infra-rouge conduit aussi à certains résultats intéressants dans le cas d'étoiles doubles.

9. La recherche des raies interstellaires d'absorption dans le spectre infra-rouge des étoiles lointaines serait aussi du plus vif intérêt. Certaines molécules ont, dans l'infra-rouge, des bandes d'absorption beaucoup plus intenses que dans le visible. Étant donné les conditions physiques régnant dans l'espace interstellaire, les bandes d'absorption dues aux éventuelles molécules interstellaires devraient être très étroites (de l'ordre de quelques cm^{-1}).

Il se pose également d'intéressants problèmes sur l'émission de certaines raies atomiques interdites et de certaines bandes interdites de vibration-rotation, situées dans l'infra-rouge.

Dans un article récent de Ciel et Terre, P. Swings et M. Désirant⁴⁰⁾ ont mis les membres de la Société Belge d'Astronomie au courant des relations étroites entre les problèmes astronomiques concernant la matière interstellaire et l'étude optique des corps solides aux très basses températures. L'interprétation des phénomènes que nous révélerait l'infra-rouge impliquerait la collaboration avec un laboratoire cryogénique.

10. En résumé, on constate combien vastes sont les problèmes que permet d'aborder la spectroscopie du domaine infra-rouge recherche sur les atomes dont les raies sensibles sont dans l'infra-rouge compléments à nos connaissances sur les niveaux atomiques, recherches sur les molécules di- et polyatomiques, étude du soleil et des planètes, etc...

Vu l'intérêt particulier de ces recherches, nous nous sommes efforcés, depuis quatre ans, de créer à Liège un laboratoire pour l'étude de l'infra-rouge en astrophysique. Un tel laboratoire implique :

- a) des instruments adéquats ;
- b) une grande pièce à température constante ;
- c) un coelostat et une tour solaire.

a) *Spectrographes* : Deux spectrographes sont nécessaires : l'un à faible dispersion pour une exploration rapide ou pour certaines recherches spéciales (p. ex. l'obscurcissement au bord) ; l'autre, à grand pouvoir séparateur.

Le premier spectrographe est du type fabriqué par Kipp en Zonen (Delft-Hollande). Il peut être équipé avec un prisme de quartz ou un prisme de sel gemme. Nous allons remplacer la pile thermo-électrique ordinaire soit par un dispositif miroir elliptique-pile thermo-électrique, qui réduit les pertes d'énergie et qui diminue le temps de réponse, soit par une installation pour l'évaporographie. Cette dernière méthode, imaginée par Czerny⁴¹⁾ et développée par Czerny et Mollet⁴²⁾ sera certainement susceptible d'intéressantes applications au cas du spectre solaire. Nous avons commencé à Cointe des travaux de laboratoire dans cette voie.

Le second instrument, à enregistrement automatique, servira à l'étude, à grande dispersion, du domaine 1 à 20 μ . Le rayonnement sera d'abord dispersé par un monochromateur avec prisme de NaCl ou de KBr. Une partie du spectre formé passera ensuite dans un spectrographe à réseau plan. Suivant la région à étudier, nous employerons :

- 1 réseau ordinaire — 600 lignes par mm. pour la région 1 μ - 2 μ . Dimensions : 75 \times 50 mm.
- 1 réseau à échellettes — 144 lignes par mm. pour la région 2 μ - 6 μ . Dimensions : 225 \times 175 mm.
- 1 réseau à échellettes — 96 lignes par mm. pour la région

6 μ - 10 μ . Dimensions : 225 \times 175 mm.

1 réseau à échelettes — 48 lignes par mm. pour la région 10 μ - 20 μ . Dimensions : 225 \times 175 mm.

De 1 μ à 20 μ , des raies distantes de 1 cm^{-1} seront facilement séparables. Ce pouvoir séparateur est de l'ordre de grandeur de celui employé par Adel dans l'étude de la région 7,7 μ à 11 μ^{26}). Mais notre instrument aura le grand avantage d'être à enregistrement automatique. Nous obtiendrons en quelques heures des enregistrements nécessitant plusieurs jours de travail avec les appareils existants. Nous pourrions donc prendre des spectres pour différentes hauteurs du soleil et séparer ainsi les raies telluriques des raies solaires. De plus le spectre étant étudié beaucoup plus rapidement, les conditions d'observation seront maintenues plus constantes et les enregistrements pourront être répétés plusieurs fois. Ce qui permettra d'éliminer certaines influences extérieures.

Comme les recherches d'astrophysique conduisent nécessairement à des études correspondantes en laboratoire, la construction de l'appareil a été prévue pour faire fonctionner le monochromateur et le spectrographe à réseau dans un vide de 10^{-2} mm. de Hg, ceci pour éviter les bandes de H₂O et de CO₂ de l'air.

La réalisation de l'instrument, qui sera terminée dans deux mois environ, a été confiée à la maison Kipp en Zonen de Delft. Nous tenons à signaler ici le dévouement, l'autorité et la complaisance de son directeur technique, M. Reichert. Qu'il nous soit permis de profiter de cette occasion pour lui témoigner notre vive reconnaissance.

Il est sans doute inutile d'insister sur l'intérêt considérable d'un tel spectrographe, tant du point de vue astronomique que du point de vue physique et physico-chimique. Une fois complétée, notre installation infra-rouge, qui nous aura demandé plus de quatre ans d'étude et d'effort sera, dans la mesure compatible avec les recherches propres de notre Institut, mise à la disposition des chercheurs belges et étrangers particulièrement intéressés à ce domaine.

b) Local. — Il se trouve au sous-sol et comprend une pièce de 8,2 \times 7,2 m. voisine d'un cabinet de préparation, tous deux d'accès indépendant. Le grand laboratoire a été étudié pour qu'on puisse y maintenir une température constante à environ 0.01° C. près. Les parois sont constituées successivement par un mur de 90 cm. d'épaisseur tapissé de toile de jute imprégnée de bitume, une couche d'air

de 6 cm (qui peut être asséchée), un deuxième mur de 12 cm. recouvert de 5 cm. d'ardennite puis de 2 cm. de plâtre. Le plancher en béton est à 90 cm. du sol (L'intervalle d'air entre la terre et le béton est ventilé). Il est tapissé de toile de jute imprégnée de bitume, de même que le plafond. Ce dernier est aussi recouvert d'ardennite. L'accès se fait par des portes doubles. Cinq blocs de béton, complètement indépendants du bâtiment, supportent la table de marbre (2 m. 50 × 1 m. 25) sur laquelle se placera le grand spectrographe infra-rouge et les colonnes en pierre qui serviront aux galvanomètres, aux dispositifs amplificateurs et aux miroirs. Le chauffage central à eau chaude peut être réglé à environ 1° près ; un chauffage électrique complémentaire fournira l'appoint désiré, à la précision de 0,01° C. Cette précision sera atteinte grâce à un appareil automatique de contrôle de température, fourni par Baily, Grundy, Barrett (Cambridge). Quatre grands ventilateurs uniformiseront la température. La pièce présente toutes les commodités désirables en électricité, gaz et eau (p. ex., il n'y a aucun évier, pour éviter l'humidité mais seulement des tuyaux d'arrivée et de départ, à vidange facile).

c) *Coelostat et cheminée solaire.* — Dans le coin S-W du laboratoire arrive une cheminée verticale en éternit maçonné de 40 cm. de diamètre intérieur. Elle nous permettra en particulier d'étudier le soleil, le faisceau de rayons solaires étant projeté vers le bas, du haut de la terrasse du second étage où se trouve le coelostat. Celui-ci a été construit par Manent (La Croix de Berny-Seine). Il possède des miroirs de 30 cm. de diamètre, taillés par Couder. Nous nous occupons actuellement du réglage de cet appareil.

Pour terminer, nous désirons exprimer notre profonde gratitude à M. Dehalu, Administrateur-Inspecteur de l'Université de Liège, pour ses encouragements et son aide en vue de la réalisation de notre programme de spectrographie infra-rouge.

Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège. Mai 1939.

P. SWINGS et M. MIGEOTTE.

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ W. BAADE. — P. Am. Ast. Soc., 9, 31, 1938.
Annual Report of the Director of the Mount Wilson
Obs. 1938.
- ² O. STRUVE, C. T. ELVEY, F. E. ROACH: — Ap. J., 84, 219, 1936.
- ³ C. HETZLER. — Ap. J., 83, 372, 1936 ; 86, 509; 1937.

- 4) A. BENNETT. — *Ap. J.*, 85, 257, 1937.
- 5) A. WHITFORD. — *P. Am. Astr. Soc. Déc.* 1937.
- 6) J. S. HALL. — *Ap. J.*, 87, 209, 1938.
- 7) G. P. KUIPER. — *Ap. J.*, 87, 213, 1938.
- 8) F. S. BRACKETT. — *Ap. J.*, 53, 121, 1921.
- 9) H. D. BABCOCK. — *Publ. A.S.P.*, 41, 274, 1929.
- 10) H. D. BABCOCK, C. E. MOORE, C. C. KIESS. — *Ap. J.*, 79, 59, 1934.
- 11) C. E. MOORE, H. D. BABCOCK. — *Ap. J.*, 79, 492, 1934.
- 12) W. BAUMANN et R. MECKE. — *Das ultrarote Sonnenspektrum. chez J. A. Barth, Leipzig*, 1934.
- 13) H. D. BABCOCK, C. E. MOORE et W. P. HOGE. — *Ap. J.*, 83, 103, 1936.
- 14) H. D. BABCOCK. — *Ap. J.*, 65, 140, 1927.
- 15) C. E. MOORE. — *Ap. J.*, 85, 79, 1937.
- 16) B. EDLEN. — *Särtryck ur Festskrift Tillägnad Osten Bergstrand Upsala*, 1938
- 17) P. ROOD et R. A. SAWYER. — *Ap. J.*, 87, 68, 1938.
- 18) C. W. ALLEN. — *Ap. J.*, 88, 125, 1938.
- 19) I. A. U. — *Stockholm Meeting. Draft Reports*, p. 105, 1938.
- 20) R. S. RICHARDSON et R. MINKOWSKI. — *Ap. J.*, 89, 347, 1939.
- 21) P. SWINGS. — *Scientia*, p. 69, 1939.
- 22) B. LYOT. — *C. R.*, 203, 1327, 1936.
- 23) LANGLEY et ABBOT. — Pour une bibliographie de leurs travaux, consulter « *Le spectre infra-rouge* » par J. Lecomte., pp. 460 et 462 - 1928.
- 24) A. ADEL, V. M. SLIPHER et E. F. BARKER. — *Phys. Rev.*, 47, 580, 1935.
- 25) A. ADEL, V. M. SLIPHER et O. FOUTS. — *Phys. Rev.* 49, 288, 1936
- 26) A. ADEL et V. M. SLIPHER. — *Ap. J.*, 84, 354, 1936.
- 27) A. ADEL et C. O. LAMPLAND. — *Ap. J.*, 87, 198, 1938 ; 88, 182, 1938
- 28) A. ADEL. — *Ap. J.*, 88, 186, 1938 ; 88, 200, 1938 ; 89, 320, 1939.
- 29) A. ADEL. — *Ap. J.*, 89, 1, 1939.
- 30) M. MINNAERT. — *Z. S. f. Aph.*, 12, 260, 1936.
- 31) V. M. SLIPHER. — *Lowell. Obs. Bull. N° 42.*, M. N., 93, 657, 1933.
- 32) R. WILDT. — *Veröff. der Un-Sternw. zu Göttingen, Heft 22*, 1932.
- 33) Th. DUNHAM Jr. — *Publ. A. S. P.*, 45, 42, 1933 ; 45, 202, 1933 ; 46, 231, 1933.
- 34) A. ADEL et V. M. SLIPHER. — *Phys. Rev.* 46, 902, 1934 ; 47, 651, 1935.
- 35) G. HERZBERG. — *Ap. J.*, 87, 428, 1938 ; 89, 288, 1939.
- 36) P. MERRILL. — *Ap. J.*, 79, 183, 1934.
- 37) K. WURM. — *Z. S. f. Aph.*, 13, 179, 1937.
- 38) R. WILDT. — *Ap. J.*, 84, 303, 1936.
- 39) C. ABBOT. — La plupart de ses travaux ont été résumés dans les *Annals Astrophys. Obs. Smithsonian Inst.*
- 40) P. SWINGS et M. DESIRANT. — *Ciel et Terre*, n° 5, 1939.
- 41) M. CZERNY. — *Z. S. f. Phys.*, 53, 1, 1929.
- 42) M. CZERNY et P. MOLLET. — *Z. S. f. Phys.*, 108, 85, 1937.