

OBSERVATIONS SPECTROSCOPIQUES  
DE LA COMÈTE AREND-ROLAND (1956 *h*) (\*)

par CH. FEHRENBACH, L. HASER, P. SWINGS et A. WOSZCZYK

RÉSUMÉ. — *Aux distances héliocentriques inférieures à 0,6 U. A., le spectre d'émission de la comète 1956h montre un doublet D anormalement intense. L'intensité du continuum est toujours élevée. On a obtenu une plus grande précision pour les longueurs d'onde des émissions jaunes-rouges ; celles-ci appartiennent toutes aux transitions  $(0, v'_2, 0) \rightarrow (0, 0, 0)$  de  $\text{NH}_2$  pour  $5 \leq v'_2 \leq 10$ , les branches Q étant les mieux marquées.*

Резюме. — На гелиоцентрических расстояниях, меньших 0,6 А. Е., эмиссионный спектр кометы 1956 *h* содержит дублет D аномальной интенсивности. Интенсивность непрерывного фона всегда высока. Получена большая точность для длин волн желто-красных эмиссий ; все они принадлежат переходам  $(0, v'_2, 0) \rightarrow (0, 0, 0)$   $\text{NH}_2$  для  $5 \leq v'_2 \leq 10$ , причем ветви Q более четко обозначены.

La comète 1956 *h* ayant été découverte plusieurs mois avant son passage au périhélie, nous avons préparé un programme d'observations spectroscopiques pour la période post-périhélie. Notre but essentiel était de faire progresser nos connaissances de la région jaune-rouge et proche infra-rouge du spectre des comètes. Une discussion récente des identifications cométaires (2) a, en effet, montré que l'incertitude sur les identifications dans le domaine visible est surtout due à la précision insuffisante des longueurs d'onde cométaires, toujours mesurées avec une très faible dispersion (ordre de 300 Å/mm). En vue du programme envisagé, un spectrographe à réseau par transmission a été installé au foyer newtonien du télescope de 120 cm de l'Observatoire de Haute Provence. Deux réseaux plans ont été utilisés, l'un (I) ayant 300 traits par millimètre (dispersion correspondante : 275 Å/mm), l'autre (II) 600 traits/mm (dispersion correspondante : 137 Å/mm). On a utilisé des plaques 103 aF pour la région visible et des plaques IN hypersensibilisées à l'ammoniaque pour l'infra-rouge. Comme spectres de comparaison, on a employé le néon, l'argon et le mercure.

(\*) The research reported in this document has been sponsored in part by the Geophysics Research Directorate of Air Force Cambridge Research Center, Air Research and Development Command, United States Air Force, through the European Office ARDC ; contract No. AF 61 (514)-912.

Au total, 29 spectres ont été obtenus, dont 16 avec le réseau I et 13 avec le réseau II ; les données d'observation sont résumées dans le tableau I.

TABLEAU I

LISTE DES SPECTRES DE LA COMÈTE 1956 *h* OBTENUS AU MOYEN DU SPECTROGRAPHE A RÉSEAU DE L'OBSERVATOIRE DE HAUTE PROVENCE

N° DU SPECTRE	DATE 1957	T. U. DE MI EXPOSITION	TEMPS DE POSE	$r$ (U. A.)	FENTE EN $\mu$	ÉMULSION	RÉSEAU
E 6a	23.IV	19 h 41 m	12 m	0.55	120	IN hypers	I
E 6b	23.IV	20 05	30	0.55	120	IN hypers	I
E 7	24.IV	3 27 5	27	0.56	120	103 a F	I
E 8	24.IV	20 42	30	0.57	120	103 a F	I
E 10a	25.IV	3 03 5	55	0.58	120	103 a F	I
E 10b	25.IV	3 52 5	5	0.58	120	103 a F	I
E 11a	26.IV	3 35 5	29	0.60	120	IN hypers	I
E 11b	26.IV	3 54 5	7	0.60	120	IN hypers	I
E 12a	28.IV	3 13 0	30	0.65	100	103 a F	I
E 12b	28.IV	3 39	10	0.65	100	103 a F	I
E 13a	28.IV	20 31	30	0.66	50	103 a F	II
E 13b	28.IV	21 21 5	15	0.66	50	103 a F	II
E 14	2.V	21 05	60	0.75	80	103 a F	II
E 15	2.V	22 16	60	0.75	80	103 a F	II
E 16	3.V	21 00	120	0.77	50	103 a F	II
E 17	4.V	22 30	180	0.79	120	IN hypers	II
E 18	5.V	21 54	180	0.81	150	IN hypers	I
E 19	6.V	23 43	194	0.83	100	IN hypers	I
E 20	8-9.V	0 04	180	0.88	100	IN hypers	I
E 21	14.V	0 42,5	165	0.98	70	103 a F	II
E 22	14.V	21 52	150	1.00	70	103 a F	II
E 23	15.V	22 01	180	1.01	100	103 a F	II
E 24	17.V	21 10	120	1.05	80	103 a F	II
E 25	18.V	01 59	54	1.06	80	103 a F	II
E 26	19.V	01 05	140	1.08	50	103 a F	II
E 27	19.V	21 00	135	1.10	50	103 a F	II
E 28	21.V	01 00	190	1.12	100	IN hypers	I
E 29	21.V	22 34,5	303	1.13	80	IN hypers	I
E 30	22.V	21 37	180	1.15	70	103 a F	I

Le guidage était effectué de manière à garder la condensation centrale au milieu de la fente. Pour les spectres infra-rouges (tous obtenus avec le réseau I), un filtre jaune placé devant l'émulsion photographique interceptait le second ordre de la partie violette du spectre. Les spectres ont été mesurés indépendamment par deux, trois ou quatre personnes, ce qui a permis d'avoir quelque idée de l'erreur moyenne des mesures.

## DESCRIPTION GÉNÉRALE DES SPECTRES

Le premier spectre, obtenu le 23 avril, a révélé que la comète 1956 *h* possédait un continuum solaire extrêmement intense, du moins dans la partie centrale (la plus brillante) de la tête. Ce continuum intense était particulièrement gênant dans le domaine rouge où les émissions cométaires ont une faible extension, dépassant à peine celle du continuum. Afin de réduire la difficulté, nous avons employé le réseau II, de plus grande dispersion ; celui-ci ne pouvait malheureusement pas être utilisé pour le proche infra-rouge, pour lequel, seul, le réseau I a été employé. Pour les spectres de fente 50  $\mu$ , la « largeur de fente projetée » équivalait à 2,12 Å avec le réseau à 600 traits par mm et à 4,24 Å avec le réseau à 300 traits par mm ; pour les autres largeurs de fente, la largeur projetée est évidemment proportionnelle.

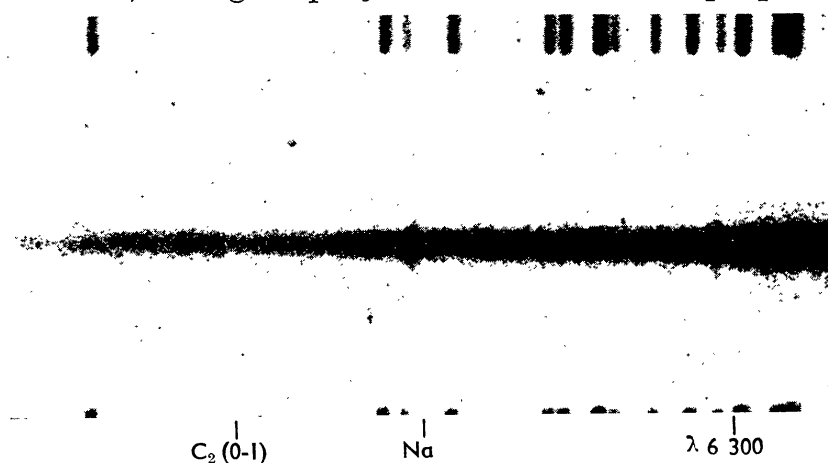


FIG. 1. — Spectre de la Comète Arend Roland  
Cliché E 7 du 24 Avril 1957.  $r = 0,56$  U. A. montrant le Sodium.

TABLEAU II  
COMPORTEMENT DE LA RAIE D DE NA

N° DU SPECTRE	DATE	$r$	INTENSITÉ RELATIVE
—	—	—	—
E 7	24 avril	0.56	Na (D) $\gg$ C <sub>2</sub> (0—1) bandes de SWAN
E 8	24 avril	0.57	>
E 10 a	24 avril	0.58	>
E 12 a et b	28 avril	0.65	=
E 13	28 avril	0.66	<
E 14	2 mai	0.75	$\ll$
à	au	à	
E 19	6 mai	0,83	
E 21	14 mai	0,98	Na en absorption dans le continuum
à	au	à	
E 30	22 mai	1.15	

L'évolution du spectre a surtout été caractérisée par l'intensité occasionnellement très élevée de la raie D de Na. Cette raie était intense sur notre premier cliché du 23 avril ; son comportement est résumé dans le tableau II.

Un tel comportement est exceptionnel. En particulier l'intensité de la raie D sur nos premiers spectres est plus élevée que sur aucun des spectres cométaires ayant servi à préparer l'*Atlas of Representative Cometary Spectra*, même pour des distances héliocentriques plus faibles.

Cette intensité anormalement élevée de la raie du sodium pourrait évidemment être due à une abondance anormale de Na dans la comète ; mais une telle hypothèse paraît simpliste et ne peut guère être vérifiée. Le phénomène est-il en rapport avec l'intensité élevée du spectre continu, c'est-à-dire avec l'abondance des poussières ? Ceci n'est probablement pas le cas puisque l'intensité de la raie D fluctue fortement par rapport au continuum. Y aurait-il une relation avec l'« aiguillon » dirigé vers le soleil ? La raie D était surtout intense durant la période où l'aiguillon était présent. Il faut remarquer toutefois que la raie D était également intense dans la comète Mrkos (1957 *d*) qui ne présentait pas d'aiguillon, mais qui, d'ailleurs, ne se trouvait pas dans les conditions requises pour l'observation d'un aiguillon puisque la terre ne passait pas par le plan de l'orbite cométaire. On pourrait imaginer que l'intensité de la raie D est fonction, à la fois, de la densité interplanétaire et de la densité cométaire.

On pourrait se demander si le doublet du sodium ne devrait pas être accompagné du doublet  $\lambda$  7 664,9- $\lambda$  7 699,0 du potassium. La raie  $\lambda$  7 698,98 n'est pas absorbée par le O<sub>2</sub> atmosphérique ; quant à  $\lambda$  7 664,88, elle était située entre deux raies de O<sub>2</sub> au début de l'époque de grande intensité du doublet D, mais tombait — par effet de vitesse radiale — sur une raie de O<sub>2</sub> à la fin de cette époque. Aucune trace des raies de K n'est trouvée sur nos clichés, même lorsque le doublet D est très intense.

Le comportement des bandes de C<sub>2</sub>, CN, CH et C<sub>3</sub> en fonction de la distance héliocentrique a été normal.

#### RÉGION JAUNE-ROUGE DU SPECTRE

Plusieurs spectres ont été mesurés indépendamment par quatre personnes. Les longueurs d'onde moyennes des raies les plus caractéristiques sont déterminées avec une erreur moyenne variant entre 0,1 et 0,9 Å ; elles sont nettement meilleures que celles qui ont été publiées antérieurement.

Le tableau III donne les longueurs d'onde des émissions du domaine  $\lambda$  5 800- $\lambda$  6 800. Il ne paraissait pas profitable d'étudier la région  $\lambda < 5 800$ , aussi bien ou mieux couverte par les spectres antérieurs que par les nôtres. Quant à la région  $\lambda > 6 800$ , nous en dirons quelques mots plus loin.

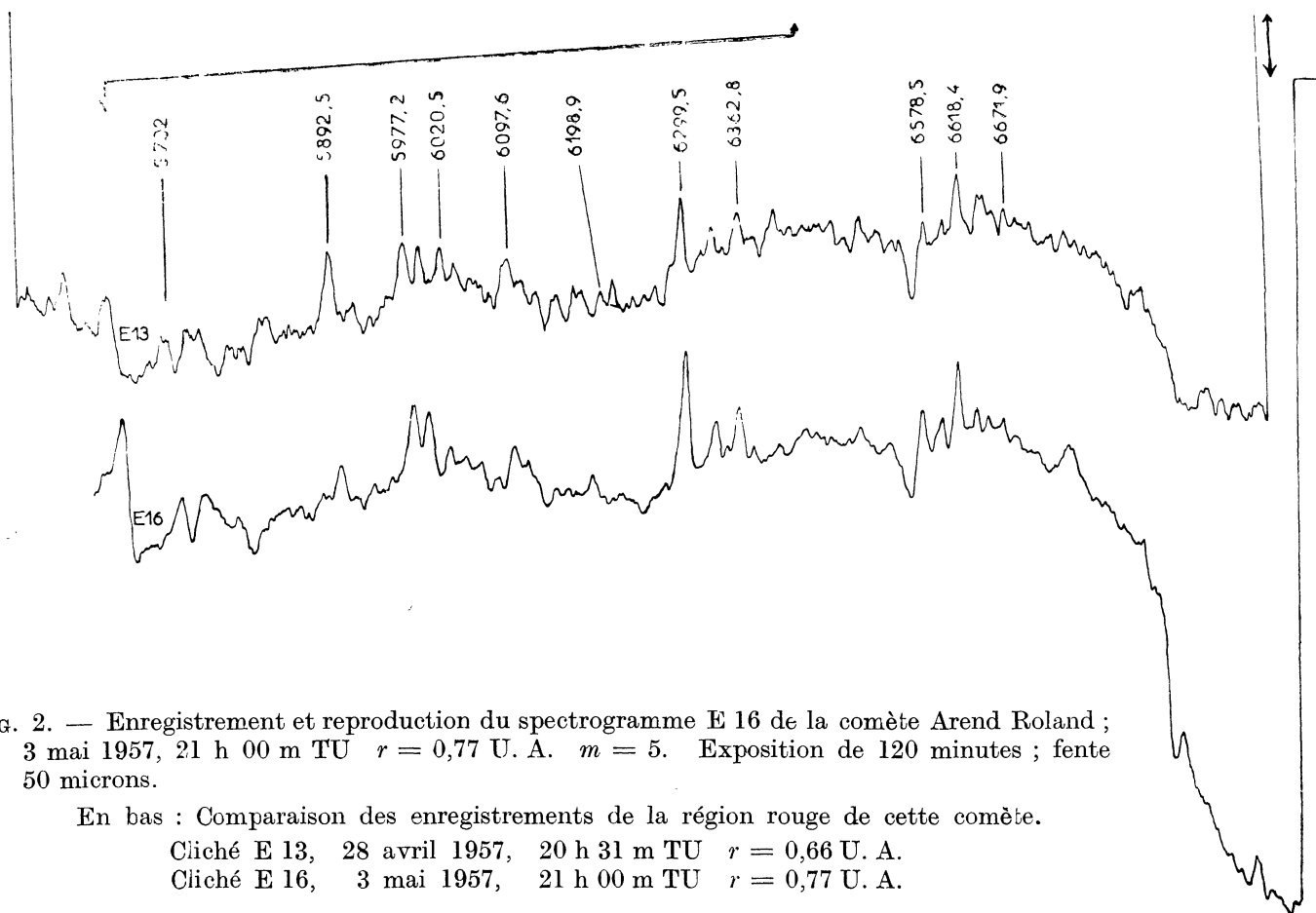
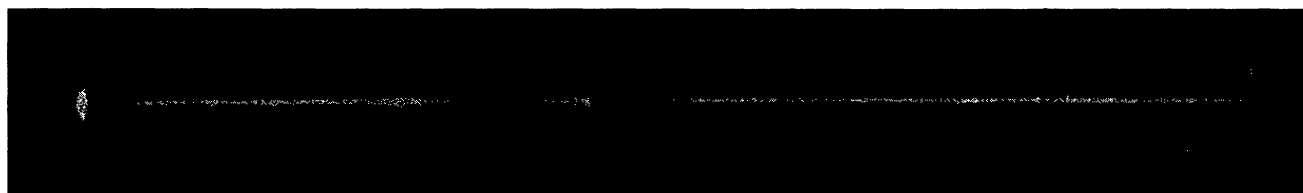
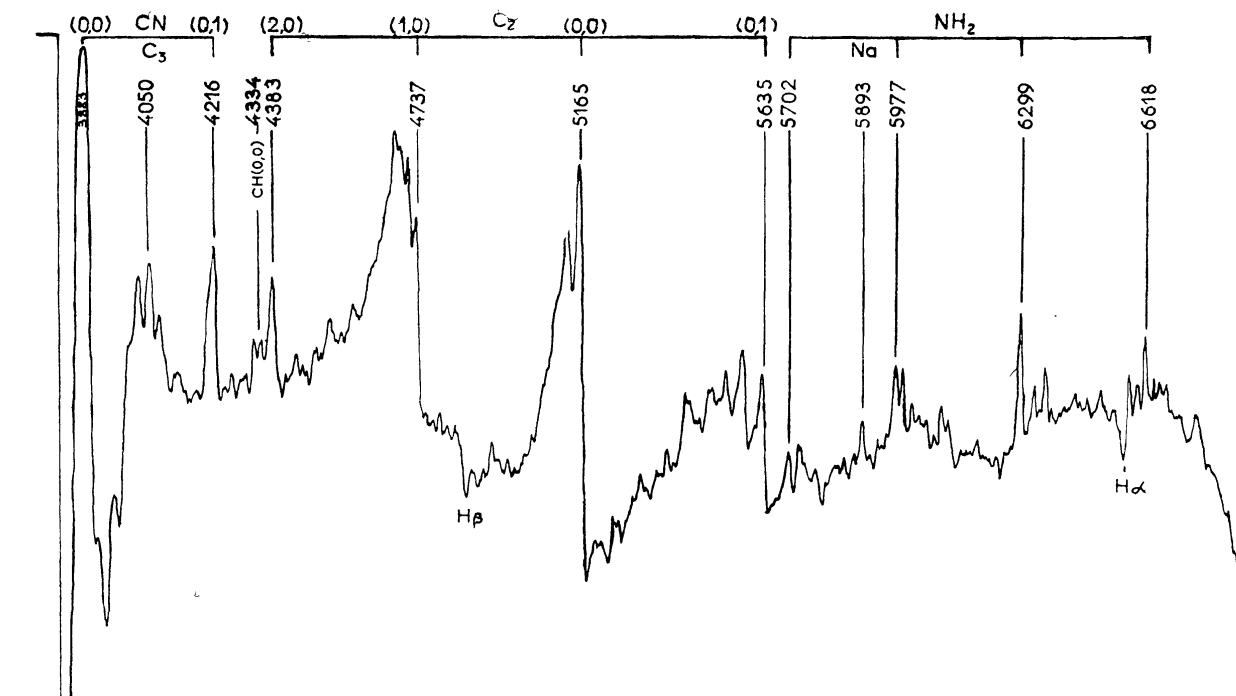


FIG. 2. — Enregistrement et reproduction du spectrogramme E 16 de la comète Arend Roland ; 3 mai 1957, 21 h 00 m TU  $r = 0,77$  U. A.  $m = 5$ . Exposition de 120 minutes ; fente 50 microns.

En bas : Comparaison des enregistrements de la région rouge de cette comète.

Cliché E 13, 28 avril 1957, 20 h 31 m TU  $r = 0,66$  U. A.

Cliché E 16, 3 mai 1957, 21 h 00 m TU  $r = 0,77$  U. A.

Dans le tableau III, (cf. pp. 8-9), sont indiquées les longueurs d'onde mesurées sur les spectres N° : E 13 a, E 13 b, E 14, E 15, E 16, E 21, E 22, E 23, E 24, E 26, E 27, l'intensité estimée des raies, l'erreur moyenne ainsi que la moyenne des mesures et leur erreur moyenne

C'est dans cette région que P. SWINGS, A. MCKELLAR et R. MINKOWSKI [2] ont attribué une série d'émissions cométaires à la bande  $\alpha$  de l'ammoniaque due au radical  $\text{NH}_2$ . Plusieurs travaux ultérieurs ont été consacrés à cette tentative d'identification. La question a été discutée récemment [1]. Les progrès n'étaient guère possibles aussi longtemps que le spectre de  $\text{NH}_2$  n'avait pas été analysé en laboratoire. Les travaux de P. PROISY [3] et de S. LEACH [4] s'étaient heurtés à l'extrême complexité du spectre en laboratoire. G. HERZBERG et D. A. RAMSAY [5] ont obtenu le spectre de  $\text{NH}_2$  en absorption grâce à la technique du photoflash. De cette façon, une analyse des bandes a enfin été rendue possible grâce à la simplification du spectre causée par une température plus basse, la suppression de nombreuses bandes de vibration, l'étude de l'effet isotopique et l'emploi de la haute dispersion [6].

Le spectre d'absorption de  $\text{NH}_2$  obtenu par photoflash consiste en une longue progression de bandes dont l'état inférieur est le niveau vibrationnel (0, 0, 0) de l'état fondamental (plié avec angle de  $103^\circ$ ) et les niveaux  $v'_2 = 3$  à  $v'_2 = 18$  de l'état supérieur linéaire. Chaque niveau ( $o, v'_2, o$ ) de l'état supérieur comprend une série de niveaux de vibration :  $\Pi, \Phi, \Theta, \dots$  pour les  $v'_2$  pairs et  $\Sigma, \Delta, \Gamma, \dots$  pour les  $v'_2$  impairs. Les « raies » les plus fortes sont les branches Q des transitions à niveau supérieur  $\Sigma$  et  $\Pi$ , entourées des branches P et R plus largement séparées. Il semble bien que les transitions correspondant à  $v'_2 = 9$  et 8 (branche Q du niveau  $\Sigma$  au voisinage de  $\lambda 5 977$  et branche Q du niveau  $\Pi$  au voisinage de  $\lambda 6 299$ ) soient les plus intenses et qu'il y ait diminution progressive d'intensité de part et d'autre.

Quelles conclusions pouvons-nous tirer en ce qui concerne les bandes cométaires de  $\text{NH}_2$  ?

1. — Le radical  $\text{NH}_2$  à l'état électronique normal possède un moment dipolaire. Les transitions de vibration-rotation et de rotation pure sont donc permises. Tout comme dans le cas des radicaux hétéronucléaires OH, NH, CH, CN on doit donc s'attendre à ce que les radicaux cométaires  $\text{NH}_2$  se trouvent, de façon prépondérante, au niveau de vibration le plus bas et à des niveaux de rotation très bas. Les émissions cométaires de  $\text{NH}_2$  doivent avoir une « température de rotation » très basse. Par exemple, dans la bande  $\lambda 6 299$ , le maximum d'intensité se situe au nombre quantique de rotation 3.

2. — En se basant sur les données déjà publiées au sujet de l'analyse du spectre de  $\text{NH}_2$ , les bandes identifiables dans la région  $\lambda > 5 700$  de la comète 1956 *h* ont été réunies dans le tableau IV. Toutes correspondent au niveau (0, 0, 0) de l'état électronique normal.

3. — Les intensités relatives des bandes cométaires de  $\text{NH}_2$  correspondent assez bien avec les intensités relatives des bandes en absorption. Comme l'a fait remarquer RAMSAY, il y a là un argument en faveur de l'excitation des bandes cométaires de  $\text{NH}_2$  par un simple mécanisme de fluorescence, comme c'est le cas pour CN, CH, OH et NH. Pour l'autre molécule polyatomique des comètes, le tricarbone  $\text{C}_3$ , on n'a pas encore une preuve spectroscopique convaincante d'une excitation fluorescente.

4. — Le fait que  $\text{NH}_2$  est produit par photolyse de  $\text{NH}_3$  conduit à confirmer l'hypothèse habituelle que le  $\text{NH}_2$  cométaire provient de la photodissociation de  $\text{NH}_3$  par le rayonnement solaire.

5. — Les bandes de niveau supérieur  $\Delta, \Gamma, \dots$  ou  $\Phi, \Theta, \dots$  sont faibles ou absentes dans la comète. Pour une identification détaillée, les données de laboratoire nous manquent encore.

6. — Les transitions  $(o, v'_2, o) \rightarrow (o, v''_2, o)$  avec  $v''_2 \geq 1$  sont très faibles en laboratoire. Leur identification dans le spectre de la comète 1956 *h* n'est pas possible.

TABLEAU IV

BANDES DE  $\text{NH}_2$  PRÉSENTES DANS LA COMÈTE 1956 *h*

NIVEAU EXCITÉ DE VIBRATION	ÉTAT PRINCIPAL	$\lambda$ APPROX. DE LA BRANCHE Q	INTENSITÉ ESTIMÉE DANS LA COMÈTE
(0,5 <sup>0</sup> ,0)	$\Sigma$	7 350	1
(0,6 <sup>1</sup> ,0)	$\Pi$	6 967	2
(0,7 <sup>0</sup> ,0)	$\Sigma$	6 621	4
(0,8 <sup>1</sup> ,0)	$\Pi$	6 299	5
(0,9 <sup>0</sup> ,0)	$\Sigma$	5 977	3
(0,10 <sup>1</sup> ,0)	$\Pi$	5 702	2

En fait, on trouve essentiellement dans le spectre cométaire, comme on devait s'y attendre, des émissions correspondant aux fortes branches Q, entourées de quelques raies des branches P et R très irrégulières, le tout correspondant à une température de rotation basse.

Sauf pour le doublet D de Na, la région jaune-rouge du spectre de la comète 1956 *h* semble bien due exclusivement à  $\text{NH}_2$ . Toutes les émissions les plus intenses peuvent être attribuées à des transitions bien définies de  $\text{NH}_2$ . Les faibles émissions non attribuées sont vraisemblablement dues aussi à  $\text{NH}_2$  ; leur attribution ne sera possible que lorsque l'analyse plus détaillée du spectre de laboratoire sera publiée. Dans le tableau III, nous avons indiqué les émissions certainement dues à  $\text{NH}_2$ , ainsi que les directions des branches P et R.



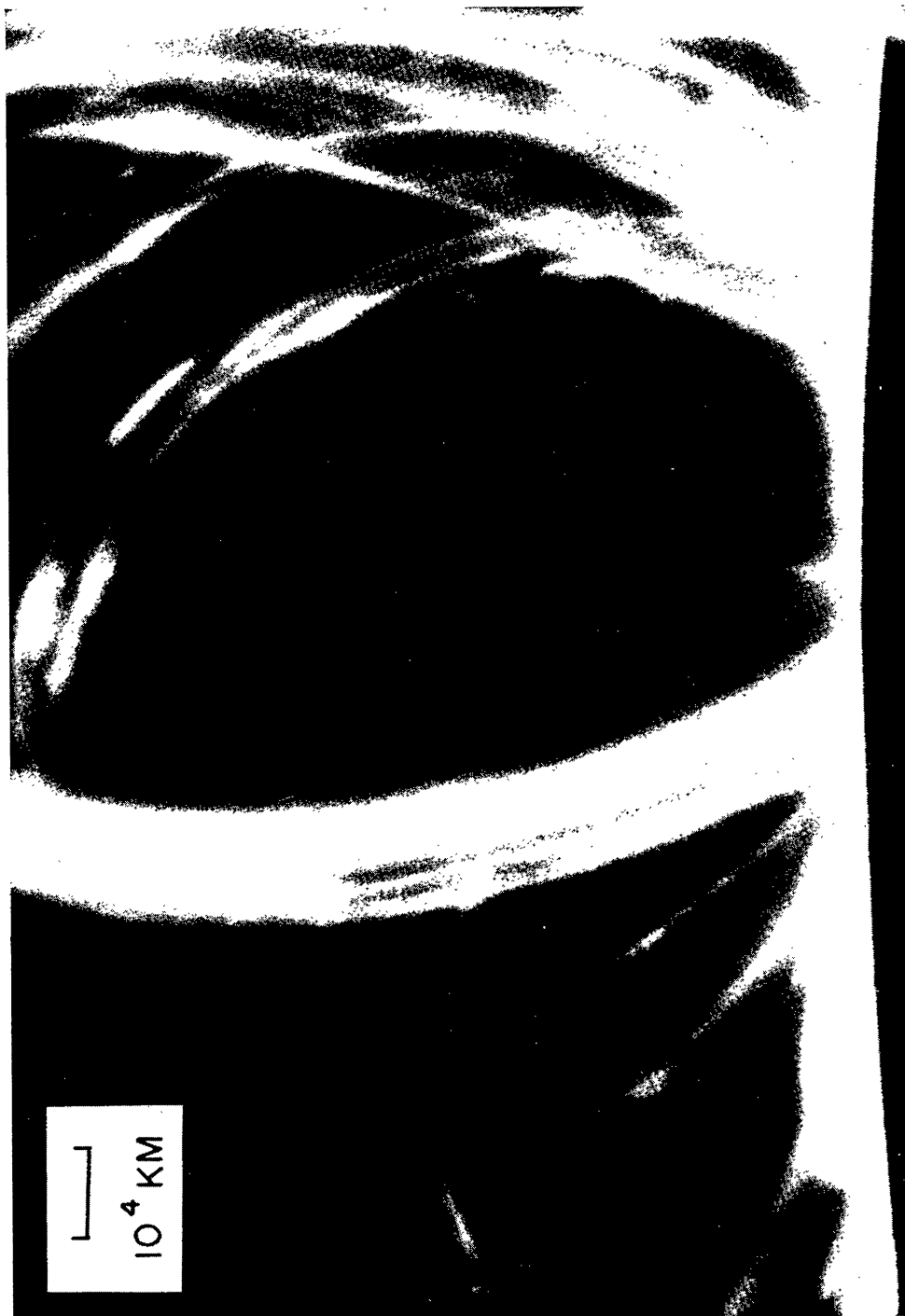


FIG. 6. — High resolution photograph of a loop prominence, taken by R. B. DUNN, Sacramento Peak, New Mexico.  
Note the fine threads of emission which seem to comprise the prominence.

*Région  $\lambda > 6\ 800$ .* — A part la mise en évidence de l'émission  $\lambda\ 7\ 350$  de  $\text{NH}_2$ , les clichés sur émulsion IN n'ajoutent pas grand chose à nos connaissances. L'émission près de  $\lambda\ 7\ 906$  est présente et est accompagnée d'une émission plus faible voisine de  $\lambda\ 8\ 100$ , tout comme dans 1947 *n* [7] et 1947 *k* [8]. Nous ne confirmons pas la différence d'extension dans la tête, entre  $\lambda\ 7\ 906$  et la bande (0—0) du système bleu de CN,  $\lambda\ 3\ 880$ . Une telle différence semblait avoir été observée dans 1947 *n* et 1947 *k* ; on peut se demander si elle n'était pas purement apparente et d'origine photographique. Une objection à l'attribution de  $\lambda\ 7\ 906$  à la bande (2—0) du système rouge de CN disparaîtrait ainsi. Mais, en fait, il nous faudrait des clichés d'intensité et résolution plus élevées dans l'infra-rouge pour résoudre ce problème.

*Manuscrit reçu le 28 septembre 1957.*

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. ROSEN, P. SWINGS et L. HOUZIAUX, *Annales d'Astroph.*, **20**, 1957, 76.
- [2] P. SWINGS, A. MCKELLAR et R. MINKOWSKI, *Ap. J.*, **98**, 1943, 142.
- [3] P. PROISY, *Annales de Physique*, 13<sup>e</sup> série, **1**, 1956, 48 et références indiqués.
- [4] S. LEACH, *Journal Phys. et Radium*, **15**, 1954, 413.
- [5] G. HERZBERG et D. A. RAMSAY, *Faraday Soc. Discussion*, No. 14, 1953, pp. 11-16.
- [6] D. A. RAMSAY, Les molécules dans les Astres (Coll. Intern. Astroph., Liège, 1956), *Mém. Soc. R. Sc. Liège*, **18**, 1957, 471 ; K. DRESSLER et D. A. RAMSAY, *J. Chem. Phys.*, à l'impression (comporte une numérotation vibrationnelle différente de celle contenue dans la référence précédente).
- [7] P. SWINGS et T. L. PAGE, *Ap. J.*, **108**, 1948, 526.
- [8] P. SWINGS et T. L. PAGE, *Ap. J.*, **111**, 1950, 530.
- [9] D. A. RAMSAY, Communication privée, décembre 1955.