

CONSIDÉRATIONS SUR LES IDENTIFICATIONS DANS LES SPECTRES COMÉTAIRES *

par B. ROSEN, P. SWINGS et L. HOUZIAUX

(Institut d'Astrophysique, Liège, Belgique).

RÉSUMÉ. — *Une comparaison minutieuse des spectres cométaires et des spectres de nombreux composés de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène n'a révélé aucune importante nouvelle identification cométaire. La difficulté principale est due à l'imprécision des longueurs d'onde cométaires.*

Резюме. — Тщательное сравнение кометных спектров со спектрами многочисленных соединений водорода, углерода и кислорода не обнаружило никакой значительной новой кометной идентификации. Главное затруднение заключается в неточности кометных длин волн.

La publication récente d'un Atlas de spectres cométaires (P. SWINGS and L. HASER, 1956) et l'apparition de la comète brillante 1956 *h* nous ont incités à publier les résultats d'une discussion sur l'état actuel des identifications des émissions cométaires, malgré le peu d'éléments positifs résultant de cette discussion. Une telle mise au point pourra, d'ailleurs, constituer un point de départ pour les travaux spectroscopiques qui ne manqueront pas d'être effectués sur la comète 1956 *h* lorsque celle-ci deviendra observable en avril et mai. On peut aussi espérer que la comète d'ENCKE fera l'objet d'observations spectroscopiques soigneuses à son prochain retour, en septembre-octobre 1957.

On trouve des tables de longueurs d'onde cométaires dans de nombreuses publications. Dans l'Atlas, on s'est contenté d'indiquer les émissions certaines (ou à peu près). Pour une discussion des possibilités d'identification de nouvelles molécules, nous avons jugé préférable de combiner plusieurs listes de longueurs d'onde, contenant également des émissions moins certaines. Nous avons collationné les tables de W. BAADÉ (1936), F. BALDET (1926), N. T. BOBROVNIKOFF (1944), J. DUFAY et M. BLOCH (1948), J. DUFAY (1946), C. FEHRENBACH et G. COURTÈS (1949), A. MCKELLAR (1943 et 1944), R. MINKOWSKI (1943), P. SWINGS (1942 et 1948), P. SWINGS, C. T. ELVEY et H. W. BABCOCK (1941), P. SWINGS et P. D. JOSE (1950), P. SWINGS et T. L. PAGE (1948 et 1950), P. SWINGS, A. MCKELLAR et R. MINKOWSKI (1943), et W. H. WRIGHT (1912).

Rappelons que les molécules et atomes identifiées dans les têtes cométaires sont : OH, NH, CH, CN, C₂, C₃, NH₂, CH⁺ et probablement OH⁺ ; Na et probablement Fe et Ni.

(*) 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 N° AF 61 (514)-912.

Quant aux queues, elles sont caractérisées par CO^+ , N_2^+ et CO_2^+ ; on y trouve aussi CH^+ et probablement OH^+ .

Dans ce qui suit nous donnerons un aperçu sommaire des résultats d'une recherche systématique de radiations cométaires pouvant être attribuées soit aux transitions encore non observées des molécules mentionnées, soit à certaines autres molécules dont la présence dans les comètes semble *a priori* possible.

BANDES DE COMPOSÉS HYDROGÉNÉS NEUTRES

OH. — Les bandes jusqu'ici identifiées de OH sont les transitions (O-O) et (1-1) de $\text{A}^2\Sigma^+ - \text{X}^2\Pi$. Il existe un autre système de OH, $\text{B}^2\Sigma^+ - \text{A}^2\Sigma^+$, qui apparaît dans la région $\lambda 4\,200 - \lambda 6\,000$ dans certaines décharges spéciales à travers H_2O (H. SCHÜLER et A. WOELDIKE, 1943 ; BARROW 1956). Son niveau inférieur est le niveau supérieur du système ultraviolet. Le système visible pourrait théoriquement être excité après absorption à partir du niveau fondamental jusqu'au niveau $\text{B}^2\Sigma^+$. Pour plusieurs raisons on peut toutefois s'attendre à ce que ce système soit faible : faiblesse du rayonnement solaire dans l'ultraviolet lointain requis pour l'excitation ; positions relatives des courbes d'énergie potentielle. D'ailleurs, à cause de superpositions, on doit limiter la recherche à $\lambda 4\,587$ (1-1) et à $\lambda 4\,731$ (0-1). Il y a d'assez bonnes coïncidences entre des émissions cométaires très faibles et les raies de OH, de faible nombre quantique de rotation. Néanmoins, on ne peut tirer de conclusion tout à fait convaincante à cause du peu de précision des longueurs d'onde d'émissions cométaires très faibles dans la région considérée : on peut simplement dire que la probabilité pour la présence du système est assez bonne.

CH. — La bande (0-0) de la transition $\text{A}^2\Delta \rightarrow \text{X}^2\Pi$ de CN est d'habitude intense dans les comètes observées à faible distance héliocentrique. La bande (0-1) devrait être émise simultanément, le rapport d'intensité de (0-0) et (0-1) étant le même dans les comètes et au laboratoire. Les reproductions de spectres (N. H. KIESS et H. P. BROIDA, 1956) indiquent que la transition (0-1) doit être très faible par rapport à (0-0). En fait, pour les probabilités de transition de (0-0) et (0-1), nous avons calculé le rapport de 140 à 1. La bande (0-1) pourrait être à la limite de visibilité sur les spectres cométaires où la branche Q de (0-0) à $\lambda 4\,313$ est très intense. Un profil synthétique approximatif de la bande (0-1) s'obtient immédiatement en partant du profil calculé pour (0-0) par J. HUNAERTS (1954) et de l'analyse rotationnelle de (0-1). Les émissions (0-1) les plus intenses des comètes devraient être :

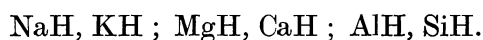
dans la branche R, près de $\lambda 4\,877.6$;
dans la branche Q, près de $\lambda 4\,886.8$;

la branche P serait trop faible pour être détectée sauf dans des cas extrêmement favorables.

En fait une faible émission courte et diffuse a été observée près de λ 4 877 dans diverses comètes où λ 4 313 CH était intense ; une autre raie faible apparaît à λ 4 885. Ces deux émissions ne sont pas dues à NH_2 . Leurs intensités relatives à λ 4 313 et les bonnes coïncidences de longueurs d'onde semblent indiquer que l'attribution à CH (0-1) est correcte. En fait, une ou deux autres émissions à la limite de visibilité (donc assez incertaines) coïncident avec d'autres raies des branches P et R.

H_2 . — Y a-t-il une trace d'émission de H_2 ? Il est vraisemblable que la molécule H_2 soit abondante dans les atmosphères cométaires. Il est même possible que l'atome d'hydrogène soit abondant et que l'absence d'émission Balmer soit simplement due à la faiblesse de l'excitation fluorescente aux longueurs d'onde de Lyman β et Lyman γ du spectre solaire. Les bandes de H_2 du domaine astronomique correspondent à une excitation élevée. Comme l'état électronique normal de H_2 est un singulet et comme il n'y a pas d'intercombinaison, un spectre de fluorescence devrait consister seulement en singulets. Nous devrions, d'ailleurs, nous attendre à ce qu'une émission fluorescente soit faible étant donné la faiblesse du spectre solaire dans l'ultraviolet lointain. De plus, comme tous les états supérieurs correspondant aux transitions du domaine observable sont pairs et ne peuvent être atteints directement, par une absorption permise à partir du niveau normal également pair, la fluorescence exige une absorption préalable à des niveaux impairs plus élevés : une raison de plus pour qu'une fluorescence éventuelle de H_2 soit faible. Un examen critique des transitions de singulets ne révèle aucune coïncidence avec les raies cométaires. Comme on ne peut exclure *a priori* un mécanisme autre que la fluorescence, nous avons envisagé toutes les coïncidences en λ , des transitions entre triplets aussi bien que singulets, avec des émissions cométaires. Dans une autre note (L. HASER et P. SWINGS, 1957), nous avons montré qu'il n'y a aucune émission de H_2 excitée par Lyman α . La conclusion est certaine : il n'y a pas de raie de H_2 dans les spectres cométaires.

Hydrures diatomiques. — Étant donné la haute abondance de OH, NH et CH, il paraît raisonnable d'examiner si des hydrures d'éléments plus lourds ne sont pas également présents. Nous avons donc recherché si les spectres connus des hydrures de quelques métaux cosmiquement abondants ne se retrouvent pas dans les comètes. Il s'agissait de :



Généralement, l'analyse vibrationnelle et rotationnelle de ces spectres est suffisamment connue pour qu'on puisse prédire les émissions qui seraient possibles dans les comètes. Certes, on trouve des coïncidences de longueurs d'onde. Malheureusement, la précision des longueurs d'onde cométaires est habituellement trop faible pour fournir une identification convaincante.

D'ailleurs, la région rouge et infrarouge des spectres cométaires est trop mal

connue. Nous ne pouvons exclure la présence de certains hydrures, notamment AlH et MgH ; quelques identifications possibles sont portées dans le tableau à la fin de cet article. Le problème devra être réexaminé lorsque nous posséderons de meilleures longueurs d'onde cométaires.

NH_2 . — Où en sont les identifications des bandes de NH_2 ? Il est certain que le radical NH_2 est responsable de certaines émissions de la région visible, comme il résulte clairement de la première note à ce sujet (P. SWINGS, A. MCKELLAR et R. MINKOWSKI, 1943). Toutefois, il est difficile d'effectuer les identifications détaillées, étant donné la complexité du spectre de NH_2 et, surtout, l'imprécision des longueurs d'onde cométaires dans le domaine visible et infrarouge proche. En fait il faut procéder avec une extrême prudence et n'accorder qu'un poids restreint à de simples coïncidences apparentes de longueurs d'onde.

Les « bandes α » de l'ammoniac ont été observées en émission dans toutes sortes de sources depuis 1872. Elles s'étendent sur tout le domaine visible et sur une grande partie de l'infrarouge photographique. Elles comprennent des milliers de raies distribuées sans régularité apparente. Même le spectre d'absorption est plutôt compliqué. Ce n'est que tout récemment, grâce à l'emploi de la haute dispersion et à l'étude détaillée de l'effet isotopique (D. A. RAMSAY, 1956 et 1957) qu'on a pu procéder à l'analyse de vibration et de rotation. Les bandes α appartiennent incontestablement au radical NH_2 ; elles sont surtout caractérisées par des branches Q intenses qui apparaissent particulièrement clairement en absorption. Les raies de faible nombre quantique de rotation (J voisin de 2) de toutes les branches Q intenses sont présentes dans les spectres cométaires. En particulier, les branches Q suivantes peuvent être identifiées sans hésitation :

$$\lambda\lambda\ 5\ 428 ; 5\ 702 ; 5\ 976 ; 6\ 299 ; 6\ 619.$$

$\lambda\ 5\ 166$ est superposée à C_2 (0-0). Les émissions cométaires suivantes, qui sont moins nettes, sont aussi dues à des branches Q de NH_2 :

$$\lambda\lambda\ 4\ 925 ; 4\ 720 ; 4\ 511 ; 4\ 153 (?) ;$$

d'autres sont irrémédiablement superposées.

Il semblerait possible que, dans des cas favorables, les raies P et R les plus intenses puissent aussi être observées. Mais la comparaison entre le spectre d'absorption de laboratoire et le spectre cométaire est difficile et hasardeuse, en partie à cause du manque de précision des longueurs d'onde cométaires. Seules, quelques rares coïncidences paraissent avoir un sens physique. La situation devient encore bien plus complexe lorsqu'on essaie de comparer les émissions cométaires aux bandes α d'émission. Avant de pouvoir entamer une telle comparaison de façon définitive, détaillée et significative, il faudrait que le spectre d'émission en laboratoire soit complètement analysé et que l'on possède des longueurs d'onde et des

profils cométaires plus précis. A l'heure actuelle, les seules identifications convaincantes sont celles des fortes raies Q.

Outre les bandes α , on observe dans diverses décharges dans l'ammoniac, des systèmes qu'il est utile de comparer aux spectres cométaires. La « bande de SCHUSTER » dont le maximum double principal se trouve à λ 5 670 — λ 5 635 se comporte tout à fait différemment des bandes α dans les sources de laboratoire. On trouve, dans certaines tables de longueurs d'onde cométaires, des émissions faibles, voisines des maxima des bandes de SCHÜSTER. En fait, ces dernières appartiennent à un « système C » de H. SCHÜLER, A. MICHEL et A. E. GRÜN (1955) qui fournit encore quelques coïncidences supplémentaires avec des émissions cométaires. Mais on ne peut, dans aucun de ces cas, parler d'une identification convaincante, surtout à cause de l'imprécision des longueurs d'onde cométaires dans le domaine visible.

Dans une décharge à haute pression, un nouveau « spectre D » apparaît, dont la tête principale se trouve à λ 6 635. La coïncidence avec une émission cométaire inexpiquée et relativement intense n'est pas convaincante.

Les spectres « C » et « D » ont été attribués à N_2H_x par SCHÜLER, à $N_2H_4^+$ par HERZBERG (1957). De telles molécules ne sont pas exclues dans les comètes.

HCO. — Comme le radical HCO est formé dans la photolyse-éclair à partir de diverses molécules parentes, y compris le formaldéhyde et l'acétaldéhyde, le spectre bien connu de HCO a été recherché dans les comètes. Des coïncidences assez bonnes sont trouvées pour 3 têtes Q, mais on ne peut conclure de façon certaine. D'autre part, il n'y a aucune coïncidence sérieuse dans le cas des bandes de la « Emeleus cool flame ».

Bandes de Schüler. — Les « bandes T » découvertes par H. SCHÜLER et L. REINEBECK (1951, 1952 et 1954) dans le spectre de décharge à travers C_2H_4 et d'autres vapeurs organiques sont dues d'après J. H. CALLOMON (1956) à $C_4H_2^+$. Leur comparaison avec les spectres cométaires conduit à de nombreuses coïncidences qui, malheureusement, ne peuvent persuader, à cause, surtout, de l'imprécision des longueurs d'onde cométaires. Quant au « spectre V » de H. SCHÜLER, L. REINEBECK et T. KÖBERLE (1952), qui apparaît dans les décharges à travers certaines vapeurs aromatiques, son attribution par SCHÜLER à $C_6H_5CH_2$ ou par S. WALKER et R. F. BARROW (1954) à C_6H_5C ne paraît pas certaine et il pourrait appartenir à une molécule plus simple. Les coïncidences avec les émissions cométaires sont moins nombreuses que pour les bandes T. Il ne semble pas qu'il y ait lieu de considérer ce spectre dans les comètes.

Oxydes et molécules divers.

Un examen systématique de certains oxydes ne conduit à aucune coïncidence frappante, alors que d'autres (exemple : MgO, CaO, spécialement FeO) donnent des coïncidences assez bonnes. L'identification n'est prouvée en aucun cas.

Pour les molécules SiN et Si₂, les quelques coïncidences observées paraissent purement accidentelles.

Quoiqu'on n'ait, jusqu'ici, pas trouvé CN⁺ dans les comètes, les observateurs doivent garder cette possibilité à l'esprit.

BANDES DE COMPOSÉS CARBONÉS NEUTRES

CN. — Le système violet de CN est l'émission cométaire la plus caractéristique. En revanche, on n'a encore aucune certitude en ce qui concerne la présence du système rouge dans les comètes.

Le système d'intercombinaison B²Σ⁺ — A²π de CN, reliant les niveaux supérieurs des systèmes violet et rouge n'a pas encore été observé en laboratoire. Il paraît certain (A. E. DOUGLAS, 1957) qu'une très faible fraction seulement (moins de 1/100) des molécules CN excitées à l'état B émettent le système B — A, en comparaison avec le nombre de molécules émettant le système B — X. On calcule facilement les longueurs d'onde et probabilités des principales transitions du système B — A : aucune ne paraît présente dans les comètes.

C₃. — Les bandes de C₃ donnent lieu non seulement au groupe 4 050, mais encore, lorsque λ 4 050 est intense, à des émissions de la région λ < 3 800 et, peut-être, à quelques très faibles émissions au voisinage de λλ 4 412, 4 434, 4 458, 4 493 et 4 511.

Système de Merrill-Sanford (SiC₂). — Le système de MERRILL-SANFORD qui est remarquablement intense dans certaines étoiles C avancées a été reproduit en laboratoire (B. KLEMAN, 1956) et paraît bien dû au radical SiC₂. Comme l'émission de C₃ est si intense dans la plupart des comètes et comme les spectres des étoiles C avancées présentent une analogie réelle avec ceux des comètes, il paraissait souhaitable de réexaminer la question de la présence éventuelle des bandes de MERRILL-SANFORD dans les comètes. Malheureusement, la comparaison ne peut être faite convenablement avant que nous ne possédions l'analyse rotationnelle des bandes de laboratoire et les profils synthétiques approximatifs de bandes dans les conditions cométaires. D'ailleurs, comme toujours, on se heurte à la difficulté résultant du manque de précision des longueurs d'onde cométaires. Néanmoins, sur la base de l'analyse vibrationnelle de KLEMAN, il semble bien que le système de MERRILL-SANFORD soit effectivement présent. La molécule SiC₂ serait donc présente, mais avec une abondance beaucoup plus faible que celle de C₃.

Aucun autre spectre de composé diatomique carboné neutre ne donne des coïncidences encourageantes avec des longueurs d'onde cométaires, sauf, peut-être, AlC (λ 5 801 ?).

Émissions cométaires infrarouges.

Les deux émissions qui sont, de loin, les plus intenses entre λ 7 000 et λ 9 000 sont λ 7 906 et λ 8 106 (P. SWINGS and T. L. PAGE, 1948) ; elles ont été trouvées sur des spectrogrammes de très faible résolution. On a, d'abord, tenté de les attribuer au système rouge de CN, mais d'importantes objections sont immédiatement apparues. En particulier, les distributions très différentes de λ 3 880 CN (système violet s'étendant à de grandes distances du noyau) et de λ 7 906 (concentré au voisinage du noyau) n'ont jamais été interprétées convenablement.

S. M. POLOSKOV (1955) a suggéré d'attribuer les émissions cométaires infrarouges au système de MEINEL ($A^2\Pi - X^2\Sigma$) de N_2^+ . Cette suggestion se heurte à des difficultés aussi graves que la précédente. En particulier, on ne peut réconcilier l'extension réduite de λ 7 906 avec le caractère d'émission de queue que devrait avoir une bande de N_2^+ . La fente du spectrographe étant dirigée le long de l'image de la queue, pourquoi une émission de N_2^+ serait-elle restée concentrée près du noyau ?

En fait, on n'aura une solution satisfaisante à l'identification de λ 7 906 et λ 8 106 que lorsqu'on possédera des spectres cométaires de plus haute résolution entre λ 7 000 et λ 9 000.

Le tableau suivant résume toutes nos tentatives provisoires d'identifications (coïncidences de longueur d'onde) ; nous n'y avons pas repris les identifications proposées dans l'*Atlas of Representative Cometary Spectra* (P. SWINGS et L. HASER, 1956).

Manuscrit reçu le 15 avril 1957.

TABLEAU

λ	IDENTIFICATION POSSIBLE	REMARQUES
3 697	C_3	
3 710	C_3	
3 720	C_3 ; NaH ; MgO	
3 739	C_3	
3 762	C_3	
3 784 (double ?)	C_3	
(3 804)	{ C_3	
(3 809)		
3 830	C_3 ; NaH	
3 935	NaH	(dans la bande de C_3)
4 169,5	NaH	
4 245 ?	AlH	(dans la région de CH et CH^+)
4 264		
4 429,3	KH	

λ	IDENTIFICATION POSSIBLE	REMARQUES
4 458 à 4 495	« V » de SCHÜLER	
4 486	KH	
4 511	NH ₂	
4 530 à 4 577	MgH	
4 546	KH	
4 554	MgH	
4 595 à 4 647	OH de SCHÜLER	proche de CN (0 — 2)
4 646	{ SiC ₂ ; OH de SCHÜLER « V » de SCHÜLER	
4 654	« V » de SCHÜLER	
4 662	SiC ₂	
4 669	« V » de SCHÜLER	proche de C ₂ (6 — 5)
4 728 à 4 790	OH de SCHÜLER	En partie, proche de C ₂ et de CH ⁺ (0 — 1)
4 801	KH	
4 838	HCO	
4 869	SiC ₂ ; KH	
4 877	SiC ₂ ; « V » de SCHÜLER	
	CH (0 — 1)	
4 885	CH (0 — 1), « V » de SCHÜLER	
4 898	« V » de SCHÜLER	
4 914	SiC ₂	
4 925	NH ₂	
4 982 à 5 007 (?)	SiC ₂	
4 997 (?)	MgO	
5 007 (?)	MgO	
5 069	« T » de SCHÜLER	
5 182 à 5 207	MgH	
5 204	SiC ₂ , HCO	
5 283	« C » de l'ammoniac	
5 330	« T » de SCHÜLER	
5 417	NH ₂	
5 428	NH ₂	
5 650	Bande de SCHUSTER (ammoniac)	
5 679	idem	
5 694	« T » de SCHÜLER	
5 702	NH ₂	
5 741	NH ₂	
5 789	FeO	
5 798-5 817	AlC	
5 918	« T » de SCHÜLER	

λ	IDENTIFICATION POSSIBLE	REMARQUES
5 976	NH ₂	
6 031	« T » de SCHÜLER	
6 059	MgO + C ₂ (2 — 4)	
6 097	CaO ; FeO	
6 110	FeO	
6 147	HCO	
6 187-6 196	FeO	proche de C ₂ (0 — 2)
6 211-6 224	FeO	
6 236	« T » de SCHÜLER	
6 281	« T » de SCHÜLER	
6 299	NH ₂	
6 320 à 6 362	CaH	
6 334	NH ₂	
6 362	« T » de SCHÜLER	
6 383	CaH	
6 398	« T » de SCHÜLER	
6 433	« T » de SCHÜLER	
6 493	« C » de l'ammoniac	
6 501	« T » de SCHÜLER	
6 600	NH ₂	
6 618	NH ₂	
6 635	« D » de l'ammoniac.	

BIBLIOGRAPHIE

- W. BAADE, *Pub. A. S. P.*, **48**, 1936, 277.
 F. BALDET, *Thèse*, Paris, 1926.
 R. F. BARROW, *Arkiv für Fysik*, **11**, 1956, 281 ; dans « Les Molécules dans les Astres » (Liège : Institut d'Astrophysique), 1957, 450.
 N. T. BOBROVNIKOFF, *Ap. J.*, **99**, 1944, 173.
 J. H. CALLOMON, *Canad. J. Phys.*, **34**, 1956, 1046.
 A. E. DOUGLAS, Communication privée, 1957.
 J. DUFAY, *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **206**, 1938, 1948 ; *C. R. Acad. Sci.*, Paris **222**, 1946, 51.
 J. DUFAY et M. BLOCH, *Ann. d'Astroph.*, **11**, 1948, 58 et 107.
 C. FEHRENBACH et G. COURTÈS, *Ann. d'Astroph.*, **12**, 1949, 66.
 G. H. HERZBERG, dans « Les Molécules dans les Astres » (Liège : Institut d'Astrophysique), 1957, 397.
 P. D. JOSE et P. SWINGS, *Ap. J.*, **111**, 1950, 41.
 N. H. KIESS and H. P. BROIDA, *Ap. J.*, **123**, 1956, 166.
 B. KLEMAN, **123**, 1956, 162.
 A. MCKELLAR, *Ap. J.*, **98**, 1943, 1 ; *Ap. J.* **99**, 1944, 62.
 R. MINKOWSKI, *Pub. A. S. P.*, **55**, 1943, 87.
 S. M. POLOSKOV, *C. R. Acad. Sci.*, U. R. S. S., **100**, 1955, 638.

- D. A. RAMSAY, *J. Chem. Phys.*, **25**, 1956, 188 ; dans « Les Molécules dans les Astres » (Liège : Institut d'Astrophysique), 1957, 471.
- H. SCHÜLER et A. WEOLDIKE, *Phys. Zs.*, **44**, 1943, 335.
- H. SCHÜLER et L. REINEBECK, *Z. Naturforsch.*, **6a**, 1951, 160 et 170 ; *Z. Naturforsch.*, **7a**, 1952, 285 ; *Z. Naturforsch.*, **9a**, 1954, 350.
- H. SCHÜLER, L. REINEBECK et R. KOBERLE, *Z. Naturforsch.*, **7a**, 1952, 421 et 428.
- H. SCHÜLER, A. MICHEL et A. E. GRÜN, *Z. Naturforsch.*, **10a**, 1955, 1.
- SWINGS P., 1942, matériel d'observation non publié (Comète Cunningham, 1941 I), *Ann. d'Aph.*, **11**, 1948, 124.
- P. SWINGS, C. T. ELVEY et H. W. BABCOCK, *Ap. J.*, **94**, 1941, 320.
- P. SWINGS, A. MCKELLAR et R. MINKOWSKI, *Ap. J.*, **98**, 1943, 142.
- P. SWINGS and T. L. PAGE, *Ap. J.*, **108**, 1948, 526 ; *Ap. J.*, **111**, 1950, 530.
- P. SWINGS and L. HASER, 1956, Atlas of Representative Cometary Spectra (Liège : Institut d'Astrophysique).
- S. WALKER and R. F. BARROW, *Trans. Far. Soc.*, **50**, 1954, 541.
- W. H. WRIGHT, *Lick Obs. Bull.*, 1912, n° 209, 8.