



HAL
open science

DÉTECTION DES RÉGIONS HII

G. Comte

► **To cite this version:**

G. Comte. DÉTECTION DES RÉGIONS HII. Journal de Physique Colloques, 1978, 39 (C1), pp.C1-115-C1-119. 10.1051/jphyscol:1978119 . jpa-00217315

HAL Id: jpa-00217315

<https://hal.science/jpa-00217315>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DÉTECTION DES RÉGIONS HII

G. COMTE

Observatoire de Marseille, 2, place Leverrier, 13004 Marseille, France

Résumé. — La technique devenue classique de détection des régions HII par photographie et interférométrie à grand rapport d'ouverture à travers un filtre interférentiel à bande étroite permet l'étude détaillée de la structure spirale de notre Galaxie et de la répartition de l'hydrogène ionisé. De nombreux résultats astrophysiques sont également obtenus sur les galaxies extérieures.

Abstract. — The now classical technique of detection of HII regions is by means of photography and/or interferometry through narrow-band interference filters, with a large aperture ratio of the imaging optics. It enables the detailed study of the spiral structure and the repartition of ionized gas in our Galaxy as well as in the external galaxies.

1. Introduction. — Les régions HII sont à présent reconnues par tous les astrophysiciens comme :

— des lieux privilégiés de formation stellaire, pas forcément localisée dans la partie visible optiquement de la région mais plus probablement dans les nuages de poussière et de molécules qui s'y trouvent associés ; la région HII elle-même est ionisée par des étoiles très chaudes de formation récente ;

— d'excellents traceurs de bras spiraux, probablement les meilleurs connus.

Avant d'aborder toute étude spectroscopique d'une région HII pour y déterminer les conditions physiques du gaz interstellaire et ses liens avec la formation stellaire, la première étape de la connaissance est d'ordre morphologique : il faut détecter les nuages de matière ionisée, observer leur répartition de brillance (projetée sur la ligne de vue), leur forme, rechercher les bords brillants susceptibles de matérialiser ondes de choc et fronts d'ionisation... et corrélérer ceci avec des cartes radio à haute résolution ou infra-rouge des objets observés. Nous verrons que ces études apportent en fait bien plus qu'un simple repérage de la position des nuages ionisés.

2. Techniques instrumentales. — Le problème de la détection photographique des régions HII peut être ainsi formulé : on veut détecter (c'est-à-dire mettre en évidence avec un rapport signal/bruit convenable ≥ 5), une source étendue (d'un diamètre angulaire compris entre quelques secondes d'arc et quelques degrés) émettant de la lumière dans quelques raies monochromatiques fines (0,2 Å à 0,8 Å environ). Le fond du ciel émet, lui, un spectre continu intense (0,5 à 1 rayleigh par Å environ, ou 3×10^{-7} erg. $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{srad}^{-1}$ à 5 000 Å) auquel se superposent

des raies d'émission fines parfois très brillantes dues à l'excitation de la haute atmosphère terrestre par les particules chargées en provenance du Soleil, et à des sources d'origine humaine (raies du mercure et du sodium). Le contraste (ou signal/bruit) d'une région HII sur le fond du ciel est donc assez faible en général si l'on considère l'ensemble du spectre : un filtrage spectral aussi étroit que possible, centré sur l'une des raies d'émission les plus brillantes du gaz interstellaire, améliore ce contraste. D'autre part, la source étant étendue, on a intérêt à utiliser un rapport d'ouverture aussi grand que possible ($f/2$ à $f/1$) afin d'augmenter l'éclairement par unité de surface du récepteur en diminuant la focale équivalente du télescope. Cette distance focale doit cependant rester adaptée aux dimensions angulaires de l'objet observé, ce dernier devant éclairer un nombre suffisant d'éléments d'image sur le récepteur (pixels). Par exemple, un télescope de 2 cm d'ouverture à $f/1$ est adapté à l'étude d'objets d'un diamètre de plusieurs degrés carrés, un grand télescope (2 m et plus) de même rapport d'ouverture est adapté à l'étude des structures de détail ou d'objets de diamètre inférieur à quelques minutes d'arc. Ces considérations imposent le choix d'un compromis résolution spatiale/rapport d'ouverture/résolution spectrale (= qualité du filtrage).

L'application de ces principes amène à concevoir deux types d'instruments pour la détection photographique des régions HII :

— un télescope de Schmidt très ouvert ($f/1$) muni d'un filtre interférentiel utilisé directement sur le ciel : c'est ainsi que Meaburn a découvert le *Cetus arc*, nébuleuse filamentaire qui est peut-être un reste de supernova très proche (Meaburn [1], [2], Elliott et Meaburn [3]). Dans ce montage, la bande passante

du filtre ne peut qu'être assez large (40 Å pour une ouverture de 15 cm) et le fond de ciel limite assez rapidement le temps de pose ;

— l'Observatoire de Marseille a développé depuis une quinzaine d'années le système *réducteur focal* (Courtès [4]) (Fig. 1) : un filtre interférentiel de b. p. très étroite (5 à 10 Å) est utilisé au foyer direct du télescope ; un objectif doublet recollimate le faisceau (ce qui permet si on le désire l'utilisation d'un étalon de Pérot-Fabry ou d'un réseau par transmission) qui est repris par un objectif à $f/1$ si on travaille avec plaque photographique. Pour ajuster correctement la focale équivalente à la résolution du récepteur, on doit choisir un rapport d'ouverture moins élevé ($f/2$) avec un tube-image (Deharveng [5], Deharveng et Pellet [6]).

Le filtrage par filtre interférentiel seul ne permet pas d'atteindre la limite possible en détection pure : le bruit dû au fond du ciel (continu + raies d'émission

atmosphériques) est trop fort dans les 6 à 10 Å de bande passante nécessaires pour obtenir une transparence suffisante des couches du filtre et un champ suffisant de celui-ci. L'étalon de Pérot-Fabry précédé du filtre interférentiel améliore sensiblement le filtrage : on forme alors des anneaux sur le ciel partout où il y a une émission étendue due à une raie monochromatique ; la transmission étant très faible entre deux pics d'Airy, le fond continu du ciel est très affaibli ; les raies parasites atmosphériques n'ayant pas la même longueur d'onde que la raie de la région III sont mises en anticoincidence avec cette dernière par un choix judicieux de l'ordre d'interférence de l'étalon. Enfin, la mesure des diamètres des anneaux fournit directement la vitesse radiale de la région observée.

Pour des sources étendues faibles de grand diamètre angulaire les spectrophotomètres photoélectriques à étalon de Pérot-Fabry ont été utilisés avec succès (Reynolds *et al.* [7, 8]) : associés à une chaîne de comptage des photoélectrons, ils autorisent des limites de détection extrêmement basses avec un bon signal/bruit (raie $H\beta$ géocoronale par exemple).

Le lecteur intéressé par les divers montages optiques utilisés au télescope se reportera aux articles de Cruvellier [9], Meaburn [10], Monnet [11] et Courtès [12].

3. Les régions III de la voie lactée. — La technique de photographie à bande étroite à grand rapport d'ouverture a été mise en œuvre par Sivan [13] pour l'étude globale à grande échelle de l'ensemble de la Voie Lactée. La figure 2 montre une mosaïque de clichés couvrant chacun un champ de 60° environ (raie $H\alpha$, bande passante 10 Å, ouverture $f/0,7$). Les champs couvrant le ciel nord ont été étudiés à l'Observatoire de Haute-Provence, tandis que la Voie Lactée australe était photographiée au Chili. La limite de détection, atteinte en 6 à 8 heures de pose, est d'environ $25 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$ pour $T_e = 7000 \text{ K}$, ou $35 \times 10^{-7} \text{ erg.cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ srad.}^{-1}$.

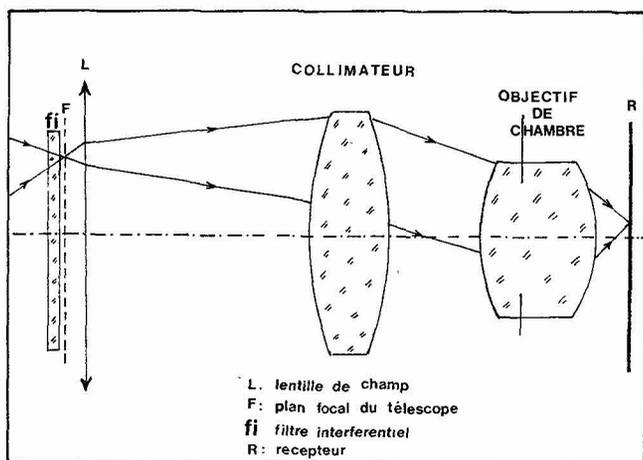


FIG. 1. — Montage *réducteur focal* d'après Courtès [4]. Le filtre interférentiel est placé juste devant le plan focal du télescope ; la lentille de champ forme l'image de la pupille du télescope (le miroir primaire) sur la pupille d'entrée de l'objectif de chambre.

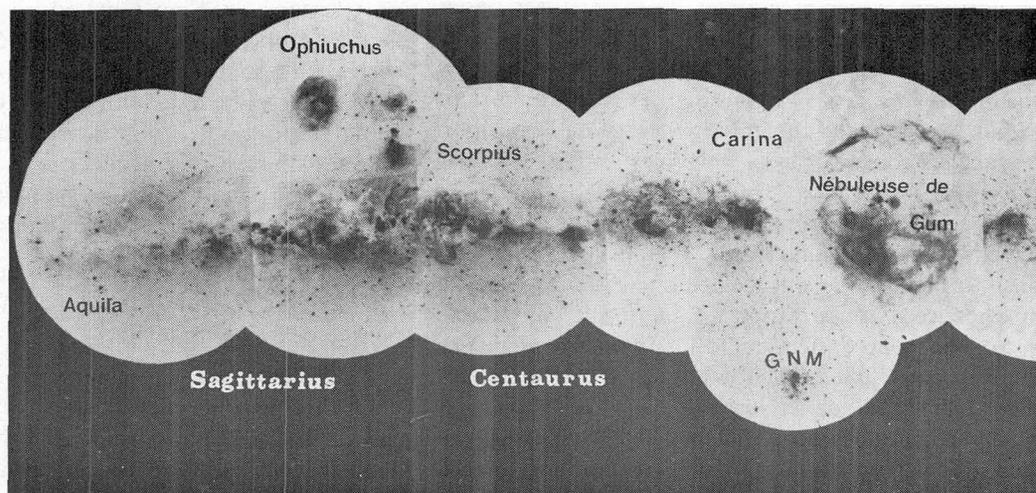


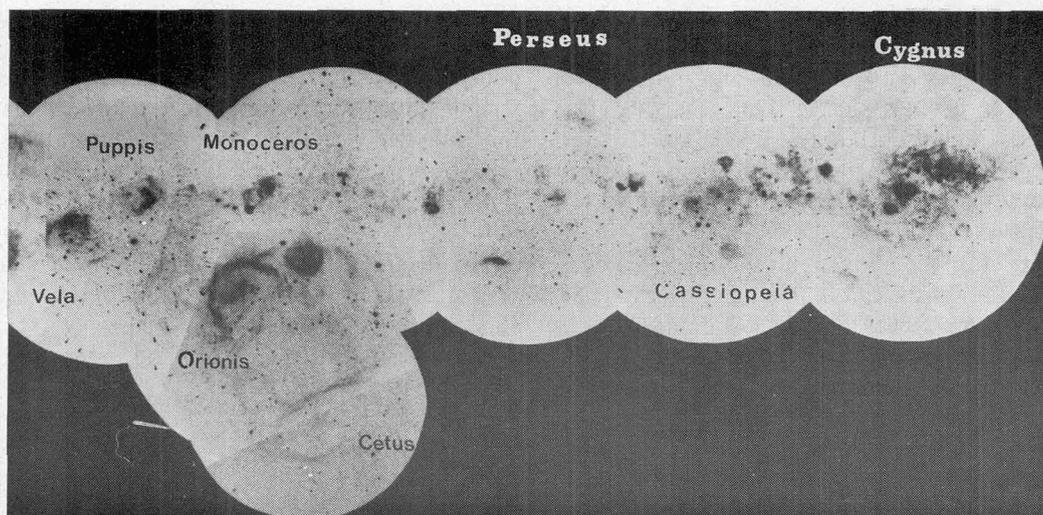
FIG. 2. — Mosaïque de clichés en raie $H\alpha$ couvrant l'ensemble

Le choix d'un champ si étendu était dicté par la recherche de filaments très tenus de très faible brillance et de très grande extension angulaire qui apparaissent généralement mal sur des mosaïques de clichés à petit champ (difficulté d'équilibrer les poses d'un champ à l'autre et effets d'œil de chat en bord de champ). L'efficacité de la détection est mise en évidence sur les filaments connectant la *Boucle de Barnard* dans Orion à l'*arc de la Baleine* et sur la vue complète en un seul cliché de la Nébuleuse de Gum. Cette étude a permis de détecter 13 régions HII nouvelles de diamètre angulaire supérieur à 1° et de préciser la structure à grande échelle d'autres *complexes nébuleux*. On détecte aussi très bien l'émission diffuse continue du bras du Sagittaire. La mesure des diamètres angulaires des plus grandes régions (étape importante de la calibration de l'échelle des distances extragalactiques) a donné 250 pc pour le diamètre de la Nébuleuse de Gum et pour le diamètre du complexe IC 4628-RCW 113. Enfin, la confrontation de cette carte de l'émission galactique observable depuis le Système Solaire avec la répartition des étoiles O excitatrices du gaz interstellaire (catalogues de Goy [14] et Cruz-González *et al.* [15]) a montré que 37 % des étoiles O se trouvent en-dehors de toute région HII morphologiquement définie, mais que seulement 9 % d'entre elles sont hors de toute région d'émission détectable (Sivan [16]).

D'autres atlas de la Voie Lactée utilisant la technique de photographie interférentielle et dont les clichés couvrent des champs d'étendue angulaire plus faibles ont été publiés : Georgelin et Georgelin [17] et Dubout-Crillon [18].

4. Modèle spiral de la galaxie. — On peut alors repérer les étoiles chaudes susceptibles d'être les sources de flux ultra-violet ionisant le gaz interstellaire et déterminer avec précision leur spectre et leur luminosité au spectrographe à fente. Ces résultats, confrontés avec la photométrie U. B. V. de ces étoiles,

donnent leur distance spectrophotométrique, c'est-à-dire la distance réelle de la région HII. L'étude interférométrique des régions HII fournit leur vitesse radiale, on peut alors construire un modèle de rotation galactique, qui donne en retour des distances dites *cinématiques* (non exemptes d'ambiguïté dans certaines directions) pour les régions HII dont les étoiles excitatrices sont inobservables (absorption par exemple) mais pour lesquelles on dispose de vitesses radiales optiques ou radio (raies de recombinaison de H et He : Reifenstein *et al.* [19], Wilson *et al.* [20], raies moléculaires observées par de nombreux auteurs). La synthèse de tous ces résultats mène à un modèle réaliste de la structure spirale de la Galaxie : Georgelin et Georgelin [21], figure 3. L'une des difficultés d'un tel modèle est le poids relatif à donner aux différentes régions observées : sur l'atlas de Sivan, la plupart des régions HII très brillantes et de grand diamètre angulaire nous apparaissent comme telles uniquement parce qu'elles sont très proches (en particulier tout le complexe d'Orion et celui de Scorpion-Ophiuchus). Or, lorsqu'on observe une galaxie extérieure, la structure spirale est dessinée par des régions de brillance moyenne à forte et de diamètre important (50 à 100 pc en moyenne). Pour avoir une vue d'ensemble de la Galaxie comparable à la vue qu'on a des galaxies extérieures de type morphologique comparable il convient d'éliminer toutes les régions peu importantes qui risquent de donner au voisinage solaire un poids trop fort. (Par exemple, la Nébuleuse d'Orion, à 450 pc du Soleil, a un diamètre réel d'environ 4 à 5 pc : à la distance de M 33, elle serait pratiquement indétectable, alors que, vue du Soleil, c'est une des régions HII les plus brillantes du ciel !) Pour restituer à chaque région sa vraie place hiérarchique, on estime le flux ionisant total injecté dans le milieu interstellaire par les étoiles excitatrices à partir de la mesure du flux radiocontinuum *free-free* émis par le gaz ionisé (observations de Shaver et Goss [22], Felli et Churchwell [23]). On voit alors que l'ancien *bras*



de la Voie Lactée, obtenus par Sivan [13]. Clichés Sivan-OHP et ESO.

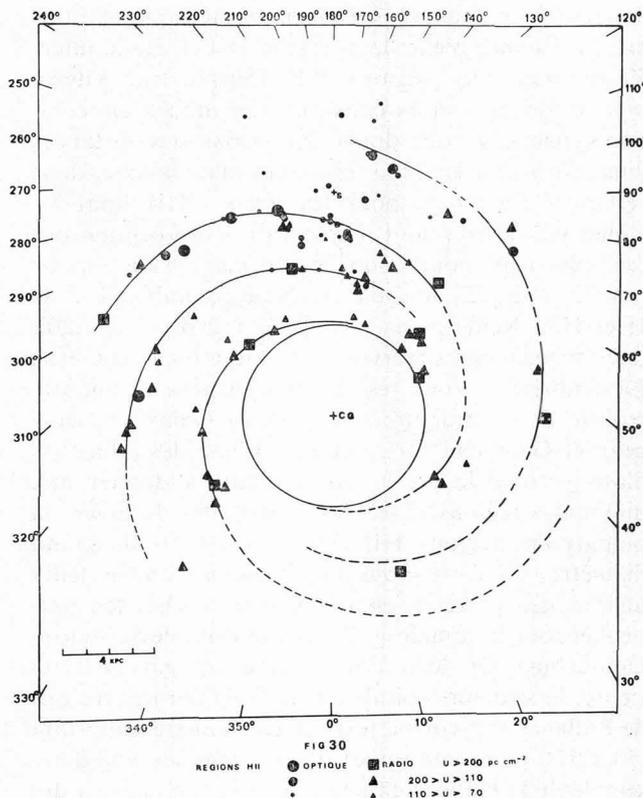


FIG. 3. — Modèle de structure spirale de la Galaxie d'après la répartition des régions HII, obtenu par Georgelin et Georgelin [21].

local galactique, situé entre le bras de Persée et le bras du Sagittaire, perd de son importance individuelle. Enfin, les directions où l'on voit les bras spiraux tangentiellement correspondent bien aux maxima de densité d'hydrogène neutre intégré sur la ligne de vue observés en raie 21 cm.

5. Galaxies extérieures. — C'est sur les galaxies extérieures (en particulier celles du Groupe Local) que la méthode de détection photographique par filtre étroit a donné ses résultats les plus spectaculaires, permettant de détecter simultanément sur un seul cliché des centaines de régions HII. Nous citerons brièvement les travaux effectués sur M 33, cas très favorable (nombreuses régions brillantes, continuum assez faible, distance modérée permettant la comparaison détaillée avec des clichés stellaires). Le premier cliché fut obtenu en 1965 (Courtès et Cruvellier [24]) ; la dernière étude a été effectuée au moyen d'un réducteur focal de 1° de champ dont le collimateur corrige la coma du foyer Newton du télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute-Provence, une chambre de Schmidt à *f*/1 donne l'image définitive sur film : en

5 à 6 h de pose, on obtient la limite de détection (environ $30 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$) à travers un filtre de 20 Å de bande passante (un filtre plus étroit n'est pas disponible en grande dimension) (Boulesteix *et al.* [25]).

Un travail identique a été effectué sur M 31 permettant la détection de près de 1 000 régions HII et le tracé détaillé de la structure spirale (Pellet *et al.* [26]).

Enfin, les tubes intensificateurs d'image ont permis d'appliquer avec succès cette technique à l'étude de galaxies plus lointaines (M 101 : Fig. 4) révélant par-

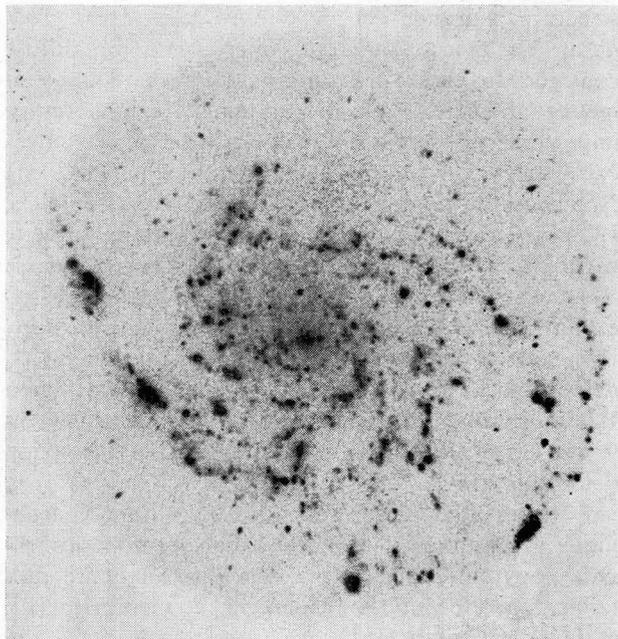


FIG. 4. — La galaxie Messier 101 (NGC 5457), située à 6 Mpc, vue à travers un filtre interférentiel de 10 Å de bande passante centrée sur H α , montage réducteur focal avec tube intensificateur d'image RCA C33011 à focalisation magnétique, télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute-Provence, pose 45 mn à *f*/2. Cliché Deharveng-OHP.

fois des structures filamentaires anormales (M 82, NGC 1275) dont la détection photographique est le préalable nécessaire à toute étude spectrographique. Citons pour terminer l'admirable réussite de Davies *et al.* [27] : un filtre interférentiel de grandes dimensions, constitué par une mosaïque de 16 filtres élémentaires (Elliott et Meaburn [28]) de bande passante 100 Å autour de H α et [NII], utilisé avec le télescope de Schmidt de 48 inches anglo-australien, a révélé l'ensemble des régions HII des Nuages de Magellan avec une profusion de détails extraordinaire : extensions filamenteuses, régions *en bulles*, régions compactes ou diffuses, restes possibles de supernovae, etc..

Bibliographie

- [1] MEABURN, J., *Z. Astrophys.* **65** (1967) 93.
 [2] MEABURN, J., *Astrophys. Space Sci.* **17** (1972) 499.
 [3] ELLIOTT, K. H., MEABURN, J., *Astrophys. Space Sci.* **7** (1970) 252.
 [4] COURTÈS, G., *Ann. Astrophys.* **23** (1960) 115.
 [5] DEHARVENG, J. M., Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Provence (1971).
 [6] DEHARVENG, J. M., PELLET, A., *Astron. Astrophys.* **9** (1970) 181.
 [7] REYNOLDS, R. J., ROESLER, F. L., SCHERB, F., *Astrophys. J.* **179** (1973) 651.
 [8] REYNOLDS, R. J., ROESLER, F. L., SCHERB, F., *Astrophys. J. Lett.* **192** (1974) L 53.
 [9] CRUVELLIER, P., *Ann. d' Astrophys.* **30** (1967) 1059.
 [10] MEABURN, J., *Astrophys. Space Sci.* **9** (1970) 206.
 [11] MONNET, G., *Astron. Astrophys.* **9** (1970) 420.
 [12] COURTÈS, G., *Vistas Astron.* **14** (1973) 81.
 [13] SIVAN, J. P., *Astron. Astrophys. Suppl.* **16** (1974) 163.
 [14] GOY, G., *Astron. Astrophys. Suppl.* **12** (1973) 277.
 [15] CRUZ-GONZALEZ, C., RECILLAS-CRUZ, E., COSTERO, R., PEIMBERT, M., TORRES-PEIMBERT, S., *Rev. Mex. Astron. Astrofis.* **1** (1974) 211.
 [16] SIVAN, J. P., Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Provence (1977).
 [17] GEORGELIN, Y. P., GEORGELIN, Y. M., *Astron. Astrophys. Suppl.* **3** (1970) 1.
 [18] DUBOUT-CRILLON, R., *Astron. Astrophys. Suppl.* **25** (1976) 25
 [19] REIFENSTEIN, E. C., WILSON, T. L., BURKE, B. F., MEZGER, P. G., ALTENHOFF, W. F., *Astron. Astrophys.* **4** (1970) 357.
 [20] WILSON, T. L., MEZGER, P. G., GARDNER, F. F., MILNE, D. K., *Astron. Astrophys.* **6** (1970) 364.
 [21] GEORGELIN, Y. M., GEORGELIN, Y. P., *Astron. Astrophys.* **49** (1976) 57.
 [22] SHAVER, P. A., GOSS, W. M., *Aust. J. Phys. Suppl.* **14** (1970).
 [23] FELLI, M., CHURCHWELL, E., *Astron. Astrophys. Suppl.* **5** (1972) 369.
 [24] COURTÈS, G., CRUVELLIER, P., *Ann. Astrophys.* **28** (1965) 683.
 [25] BOULESTEIX, J., COURTÈS, G., LAVAL, A., MONNET, G., PETIT, H., *Astron. Astrophys.* **37** (1974) 33.
 [26] PELLET, A., ASTIER, N., VIALE, A., COURTÈS, G., MAUCHE-RAT, A., MONNET, G., SIMIEN, F., *Astron. Astrophys. Suppl.* (à paraître) (1978).
 [27] DAVIES, R. D., ELLIOTT, K. H., MEABURN, J., *Mem. R. Astron. Soc.* **81** (1976) 89.
 [28] ELLIOTT, K. H., MEABURN, J., *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **172** (1975) 427.