

- 108.** Woolley, R.v.d.R. *et al.* *R. Obs. Bull.*, no. 66, 1963.
109. Woolley, R.v.d.R. *IAU/URSI Symp.* no. 20, 1963, p. 238.
110. Woolley, R.v.d.R. *IAU/URSI Symp.* no. 20, 1963, p. 347.
111. Woolley, R.v.d.R., Epps, E. R. *R. Obs. Bull.* no. 65, 1963.
112. Woolley, R.v.d.R. *et al.* *R. Obs. Bull.* no. 58, 1962.

Note: The IAU/URSI Symposium no. 20 has now been published as *The Galaxy and the Magellanic Cloud*. Ed. F. J. Kerr and A. W. Rodgers, Published by the Australian Academy of Science, 1964.

APPENDICE 3. RADIOSOURCES EXTRAGALACTIQUES ET GALAXIES

(préparé par J.-F. Denisse)

Depuis la dernière Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, les progrès accomplis dans le domaine de la Radioastronomie extragalactique ont été considérables, surtout ceux qui résultent de l'observation dans le continuum radio-électrique.

Les catalogues de radiosources existants ont été améliorés ou étendus (**1**, **2**) et l'origine du désaccord entre le catalogue 3C et le catalogue de Mills est maintenant bien comprise. Des catalogues nouveaux ont été établis ou sont en voie de parution notamment à Cambridge (**3**, **4**, **5**) et à Parkes; certains, qui concernent une centaine de sources, donnent des positions particulièrement précises (10" à 60") qui ont permis de nouvelles identifications (**6**, **7**, **8**); enfin la position de quelques radiosources est maintenant connue avec une précision de 1", par occultation (**9**, **10**, **10 bis**).

La structure d'un grand nombre de radiosources a été déterminée grâce aux observations interférométriques effectuées à Jodrell Bank (**11**, **12**), au California Institute of Technology (**13**), à Nançay (**14**), en Australie (**15**) et à Great Malvern en Angleterre (**16**). D'autre part certaines structures sont accessibles à des instruments à lobe unique (**17**) et des occultations ont fourni quelques mesures à très haut pouvoir de résolution (**9**, **10**, **10 bis**). Toutes les observations s'accordent pour confirmer que plus de 50% et peut-être 75% des sources extragalactiques ont une structure double, voire plus complexe (M87, NGC5128); d'autres sont constituées d'un noyau et d'un halo (Hyd. A); plusieurs radiosources intenses ont un diamètre apparent inférieur à 1" (3C48). Il n'est pas rare d'observer dans les cas les mieux connus des variations de structure avec la fréquence (**14**, **10**).

La connaissance du spectre radioélectrique des radiosources a également fait d'énormes progrès, grâce aux nouveaux catalogues et aux mesures de flux effectuées spécialement dans divers laboratoires. Après une compilation préliminaire de Kuzmin (**18**), Conway, Kellerman et Long (**19**) ont déterminé le spectre de 160 sources et le groupe de Parkes celui d'un très grand nombre de sources, avec une précision moindre. Des mesures à très haute fréquence sont en cours à l'Observatoire du Michigan. Si la densité de flux S de nombreuses sources varie comme une puissance $-\alpha$ de la fréquence ν ($S \sim \nu^{-\alpha}$), l'indice spectral α étant alors souvent compris entre 0.6 et 0.8, le spectre de plus de la moitié d'entre elles présente une courbure dans le domaine de fréquences observable, l'indice α croissant toujours avec la fréquence.

Enfin la polarisation linéaire du rayonnement, prévisible s'il est du au mécanisme synchrotron, a été découverte d'abord dans Cyg A et NGC5128 (**20**, **21**), puis dans de très nombreuses radiosources (**22**, **23**, **24**, **25**). Des programmes importants d'observation sont en cours notamment au Naval Research Laboratory au California Institute of Technology, à Green

Bank, à l'Observatoire du Michigan, et surtout à Parkes. Actuellement la polarisation a été détectée dans plus de 100 sources: elle semble générale aux fréquences élevées, mais le taux de polarisation décroît souvent avec la fréquence, peut-être par suite de la rotation Faraday à l'intérieur même de la radiosource (26). D'autre part, l'angle de position du vecteur électrique varie presque toujours comme l'inverse du carré de la fréquence, ce qui peut s'expliquer par une rotation Faraday sur le trajet des ondes; on constate d'ailleurs que la rotation est particulièrement forte pour les sources de faible latitude galactique. Des détails sur la distribution du rayonnement polarisé dans 6 radiosources ont été obtenus par interférométrie (27).

Le nombre de radiosources identifiées à des galaxies s'élève à 140 environ; plus de la moitié de ces identifications (la plupart obtenues au California Institute of Technology) sont certaines. Pour 42 d'entre elles, la position optique a été mesurée avec une grande précision pour servir à l'étalonnage des radiotélescopes (28).

Parmi les sources identifiées, plusieurs correspondent à des objets optiques d'aspect stellaire (10, 10 bis, 29, 30, 30 bis), le cas de 3C273, pour lequel l'objet optique et une composante radioélectrique ponctuelle coïncident à 1" près, est particulièrement sûr. Il est vraisemblable qu'il ne s'agit pas d'étoiles mais de galaxies, puisque le déplacement vers le rouge des raies spectrales de 3C47, 3C48, 3C147 et 3C273 correspond à des vitesses de récession égales respectivement à 0.425 *c*, 0.3675 *c*, 0.545 *c* et 0.158 *c* (30, 31): aucune autre théorie plausible n'a pu être avancée pour expliquer ce décalage et d'autre part le mouvement propre de 3C273 est inférieur à 0.001" par an (32). Ces objets ont une magnitude absolue égale respectivement à -24, -24.8, -25 et -26.1, des dimensions inférieures à quelques kpc et 3C48, 3C273 et 3C196 présentent des fluctuations de luminosité (29, 33, 33 bis). F. Zwicky pense qu'il existe des objets intermédiaires (compact galaxies) entre les noyaux des galaxies normales type M31 et ces objets (34). Ceux-ci constituent d'ailleurs une proportion importante des radio-sources puisque l'observation récente à Parkes de 8 occultations par la Lune a permis de découvrir 3 ou 4 nouveaux objets de ce type. Ils n'ont pas obligatoirement des petites dimensions dans le domaine radioélectrique; certains ont une structure complexe (3C273).

M. Schmidt a mesuré le décalage des raies spectrales d'une cinquantaine de radiogalaxies dont on connaît donc la distance: pour la plupart d'entre elles, les dimensions angulaires et le spectre sont également connus, si bien que l'on peut avoir une idée assez complète de leurs propriétés (35). Du point de vue optique, ce sont surtout des galaxies elliptiques étendues présentant fréquemment des raies d'émission, et de forte luminosité: la magnitude absolue photographique moyenne de -20.8 déterminée par Bolton (36) sur un petit nombre de cas est confirmée. D'autre part elles présentent parfois des régions étendues émettant en H α (37): M82 est de ce point de vue particulièrement remarquable (38).

La radiosource associée ne semble que rarement présenter une relation morphologique avec la galaxie optique. Généralement la plus grande dimension moyenne est de l'ordre de 100 kpc; elle peut aussi être plus petite que la galaxie: dans ce cas elle présente un spectre courbe ou de faible indice spectral (39, 39 bis). D'une façon générale, il existe une nette relation entre les dimensions linéaires de la radiosource extragalactique et son indice spectral aux basses fréquences, qui est d'autant plus élevé que la source est plus étendue, et ceci indépendamment de sa puissance intrinsèque (40). D'autres relations qualitatives entre les différentes propriétés des radiogalaxies ont pu être établies mais avec une dispersion beaucoup plus grande (41, 42, 43, 44): les sources étendues tendent à être intrinsèquement les plus puissantes (mais 3C48 et d'autres objets semblables sont des exceptions remarquables, et il y a de forts effets de sélection observationnelle); les sources de grande température de brillance ont des spectres courbes (ceci est un cas particulier de la relation établie dans les références (39, 39 bis, 40)). Enfin les sources de grandes dimensions, de faible température de brillance et de spectre rectiligne sont les plus polarisées.

Les propriétés radioélectriques des galaxies dites 'normales' (44 bis) présentent de grandes

variétés, notamment en ce qui concerne leur spectre et leurs dimensions (45); en particulier, certaines présentent un halo (M31, M33) et d'autres non comme NGC4945 (46); il semble bien qu'il soit déraisonnable d'opposer les 'galaxies normales' aux 'radiogalaxies' dès que l'on envisage des critères plus fins que le flux radioélectrique intrinsèque.

L'accumulation des données de l'observation et les progrès de la théorie du spectre des radiosources (47) sont assez importants pour que l'on puisse songer à construire des modèles de radiogalaxies. Presque tous les modèles actuels s'accordent à considérer ces objets comme non-stationnaires, et cherchent dans un phénomène violent intéressant les régions centrales l'origine de l'énergie considérable, pouvant atteindre 10^{62} ergs, qui est nécessaire au rayonnement radioélectrique. On a imaginé l'explosion quasi simultanée d'un grand nombre de supernovae (48, 49), ou bien des processus d'accélération liés à la formation des étoiles (50, 51) ou à un effet magnétohydrodynamique d'ensemble dans la galaxie (52), enfin une explosion du type supernova qui représenterait l'aboutissement de l'évolution d'une 'superétoile' centrale de 10^6 à $10^8 M_{\odot}$ (53). L'opinion la plus répandue aujourd'hui voit la source d'énergie dans la contraction gravitationnelle d'un objet super massif (53 bis).

Il résulte de ce phénomène catastrophique une expansion de gaz à haute vitesse dont on possède des preuves directes dans des galaxies extérieures (54, 38) voire dans notre galaxie (55), et qui pourraient être à l'origine du halo radioélectrique des galaxies (56). Shklovsky (43) suppose que le gaz éjecté contenant un champ magnétique et des électrons relativistes constitue la radiosource, tandis que Van der Laan (57) penche plutôt vers l'interaction du gaz éjecté avec le milieu intergalactique pour expliquer le rayonnement radioélectrique. Les objets comme 3C48 ou 3C273, dont l'émission lumineuse est peut-être synchrotron (29), représentent peut-être l'étape initiale de l'évolution d'une radiosource. Le phénomène violent qui est à l'origine de la radiosource semble pouvoir se reproduire plusieurs fois dans une même galaxie, à des intervalles assez rapprochés, comme le met en évidence la structure complexe de certaines radiosources bien étudiées comme NGC5128 ou M87 (14), voire même 3C273 (10).

Les identifications sont maintenant assez nombreuses pour que l'on puisse songer à établir sans trop d'incertitude la fonction de luminosité des radiogalaxies. Ryle (58) a donné un résumé de la discussion des différentes données observationnelles qui concordent avec un modèle gaussien de puissance intrinsèque moyenne $3 \cdot 10^{25} \text{ W Hz}^{-1} \text{ stérad}^{-1}$ à 178 Hz, de dispersion telle que 90% des sources ont une puissance comprise entre 10^{24} et $10^{27} \text{ W Hz}^{-1} \text{ stérad}^{-1}$. Il est donc probable que la plupart des sources faibles (disons de densité de flux inférieure à $2 \cdot 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ à 178 MHz) sont à des distances considérables, où les effets cosmologiques sont très grands. Les comptages et statistiques de diamètre de radiosources ont donc une grande importance cosmologique (59, 60). Les observations de Cambridge (61, 62), Sydney et Parkes s'accordent à trouver que le nombre N de sources de densité de flux supérieure à S obéit à la relation $N \sim S^{-1,8}$, alors qu'un modèle d'Univers euclidien et uniforme conduit à la relation $N \sim S^{-1,5}$; d'ailleurs les différents modèles simples d'Univers conduisent tous à un défaut de sources faibles par rapport à ce qui est observé (63, 64). On est donc amené, soit à supposer que la plupart des sources faibles sont galactiques (65) ou que la distribution spatiale des radiogalaxies est très irrégulière (66, 67), soit plus probablement à imaginer des effets d'évolution: ou bien le nombre de radiosources par unité de volume était plus grand autrefois qu'aujourd'hui, ou bien les sources étaient en moyenne plus puissantes dans le passé (64, 58).

Les progrès dans l'observation des galaxies en raie 21 cm sont moins spectaculaires faute jusqu'à ces derniers temps d'instruments adéquats. La galaxie la plus lointaine détectée à Dwingeloo est M51 (68), mais 27 galaxies ont été détectées à Harvard grâce à un maser (69) et 30 à Green Bank par Roberts, tandis que Burke étudiait en détail M31, à Green Bank également. Plusieurs galaxies ont également été étudiées à Jodrell Bank (70). D'autre part, le groupe de Parkes a mesuré l'émission de quelques galaxies australes, comprenant les nuages de Magellan dont des cartes très détaillées ont été obtenues: le petit Nuage montre dans toute

son étendue un curieux dédoublement de la raie dont l'interprétation n'est pas claire (71). D'autre part, la raie 21 cm a été pour la première fois détectée dans un amas (l'amas de Virgo), en absorption devant M87 (72).

BIBLIOGRAPHIE

1. Bennett, A. S. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 75, 1962.
2. Bennett, A. S. *Mem. R. astr. Soc.*, **68**, 163, 1962.
3. Leslie, Patricia R. R. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **122**, 51, 1961.
4. Bennett, A. S. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **127**, 3, 1963.
5. Scott, P. F., Ryle, M., Hewish, A. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **122**, 95, 1961.
6. Read, R. B. *Astrophys. J.*, **138**, 1, 1963.
7. Joshi, M. N. *Ann. Astrophys.*, **25**, 377, 1962.
8. Clarke, M. E. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **127**, 405, 1964.
9. Hazard, C. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 343, 1962.
10. Hazard, C., Mackey, M. B., Shimmins, A. J. *Nature*, **197**, 1037, 1963.
- 10 bis. Hazard, C., Mackey, M. B., Nicholson, W. *Nature*, **202**, 227, 1964.
11. Allen, L. R. *et al.* *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 477, 1962.
12. Rowson, B. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 177, 1963.
13. Moffet, A. T., Maltby, P. *Astrophys. J. Suppl.*, **7**, 141, 1962.
14. Lequeux, J. *Ann. Astrophys.*, **25**, 221, 1962.
15. Scheuer, P. A. G., Slee, O. B. 1963, en préparation.
16. Hey, J. S. *et al.* 1963, en préparation.
17. Swarup, G., Thompson, A. R., Bracewell, R. N. *Astrophys. J.*, **138**, 305, 1963.
18. Kuzmin, A. D. *Astr. Zu.*, **39**, 22, 1962. (*Soviet Astronomy*, **6**, 15, 1962).
19. Conway, R. G., Kellerman, K. I., Long, R. J. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 261, 1963.
20. Mayer, C. H., McCullough, T. P., Sloanaker, R. M. *Astrophys. J.*, **135**, 656, 1962.
21. Bracewell, R. N., Cooper, B. F. C., Cousins, T. E. *Nature*, **195**, 1084, 1962. cf. aussi Zakharenkov *et al.* *Soviet Astronomy*, **7**, 161, 1963.
22. Gardner, F. F., Whiteoak, J. B. *Phys. Rev. Letters*, **9**, 197, 1962.
" " *Nature*, **197**, 1162, 1963.
23. Morris, D., Radhakrishnan, V. *Astrophys. J.*, **137**, 147, 1963.
24. Seielstad, G. A., Morris, D., Radhakrishnan, V. *Astrophys. J.*, **140**, 53, 1964.
25. Davies, R. D., Verschuur, G. L. *Nature*, **197**, 32, 1963.
26. Woltjer, L. *Astrophys. J.*, **136**, 1152, 1963.
27. Morris, D., Radhakrishnan, V., Seielstad, G. A. *Obs. Owens Valley Observatory*, 1963, no. 9.
28. Griffin, R. F. *Astr. J.*, **68**, 421, 1962.
29. Matthews, T. A., Sandage, A. R. *Astrophys. J.*, **138**, 30, 1963.
30. Schmidt, M., Matthews, T. A. *Astrophys. J.*, **139**, 781, 1964.
- 30 bis. Ryle, M., Sandage, A. *Astrophys. J.*, **139**, 419, 1964.
31. Greenstein, J. L., Schmidt, M. *Astrophys. J.*, **140**, 1, 1964.
32. Jeffreys, W. *Dallas Conference on Gravitational Collapse*, sous presse.
33. Smith, H. J., Hoffleit, D. *Nature*, **198**, 650, 1963.
34. Zwicky, F. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **257**, 2240, 1963.
35. Matthews, T. A., Morgan, W. W., Schmidt, M. *Astrophys. J.*, **140**, 35, 1964.
36. Bolton, J. G. *C.R. Ass. Gén. URSI*, Comm. 5, Londres, 1960.
37. Courtès, G., Véron, P., Viton, M. *Dallas Conference on Gravitational Collapse*, sous presse.
38. Lynds, C. R., Sandage, A. R. *Astrophys. J.*, **137**, 1005, 1963.
39. Lequeux, J. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 1865, 1962.
- 39 bis. Howard III, W. E. *et al.* *Nature*, **202**, 862, 1964.
40. Lequeux, J. 1964, en préparation.
Kellerman, K. I. 1963, Thèse.
41. Heesch, D. S. *Publ. astr. Soc. Pacif*, **72**, 368, 1960.
42. Pskovskiy, Y. P. *Astr. Zu.*, **39**, 922, 1962 (*Soviet Astronomy*, **6**, 172, 1962).

43. Shklovsky, I. S. *Astr. Zu.*, **39**, 591, 1962 (*Soviet Astronomy*, **6**, 465, 1963).
44. Kellerman, K. I., Long, R. J., Allen, L. R., Moran, M. *Nature*, **195**, 692, 1962.
- 44 bis. Heesch, D. S., Wade, C. M. *Astr. J.*, **69**, 277, 1964.
45. Heidmann, J. *Ann. Astrophys.*, **26**, 343, 1963.
46. Mathewson, D. S., Rome, J. M. *Observatory*, **83**, 20, 1963. *Austr. J. Phys.*, **16**, 360, 1963.
47. Kardashev, N. S. *Astr. Zu.*, **39**, 393, 1962 (*Soviet Astronomy*, **6**, 317, 1962).
48. Shklovsky, I. S. *Astr. Zu.*, **37**, 945, 1960 (*Soviet Astronomy*, **4**, 885, 1960).
49. Burbidge, G. R. *Nature*, **190**, 1053, 1961.
50. Cameron, A. G. W., Burbidge, G. R. *Nature*, **194**, 963, 1962.
51. Ginzburg, V. L. *Astr. Zu.*, **38**, 380, 1961.
52. Hoyle, F. *Observatory*, **81**, 39, 1961.
53. Hoyle, F., Fowler, W. A. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 169, 1963.
- 53 bis. Hoyle, F., Fowler, W. A., Burbidge, G. R. et E. M. *Astrophys. J.*, **139**, 909, 1964.
54. Burbidge, G. R., Burbidge, E. M., Sandage, A. R. *Rev. Mod. Phys.*, **35**, 947, 1963.
55. Lequeux, J. *Ann. Astrophys.*, **26**, 429, 1963.
56. Burbidge, G. R. *Astrophys. J.*, **138**, 57, 1963.
56. Van der Laan, H. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 1963, sous presse.
58. Ryle, M. Developments in Radiosource Work since 1960. *Ass. Gén. URSI*, Comm. 5, Tokyo, 1963.
cf. aussi: Oort, J. H.; dans *Grands Radio-Telescopes*, Symp. OCDE, Paris, Décembre 1961, p. 35.
59. Hey, J. S. *ICSU Rev.*, **5**, 54, 1963.
60. Von Hoerner, S. dans *Grands Radio-Telescopes*, Symp. OCDE, Paris, Décembre 1961, p. 59.
61. Scott, P. F., Ryle, M. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **122**, 389, 1961.
62. Ryle, M., Neville, A. C. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 39, 1962.
63. McVittie, G. C. *Fact and Theory in Cosmology*, Eyre and Spottiswoode, Londres, 1961.
64. McVittie, G. C., Roeder, R. C. *Astrophys. J.*, **138**, 899, 1963.
65. Sciamia, D. W. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **126**, 195, 1963.
66. Hanbury Brown, R. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **124**, 35, 1962.
67. Hoyle, F., Narlikar, J. V. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **125**, 13, 1962.
68. Heidmann, J. *Bull. astr. Inst. Netherlds.*, **15**, 314, 1961.
69. Epstein, E. E. Thèse, Harvard, 1962.
cf. aussi: Roberts, M. S. in *Annu. Rev. Astr. and Astroph.*, **1**, 149, 1963.
70. Davies, R. D. *et al.* à paraître.
71. Hindman, J. V., Kerr, F. J., McGee, R. X. *Austr. J. Phys.*, **16**, 570, 1963.
72. Robinson, B. J., Van Damme, K. J., Koehler, J. A. *Nature*, **199**, 1176, 1963.

APPENDIX 4. SUMMARY OF WORK DONE IN U.S.S.R. ON COSMOLOGY
AND RELATED TOPICS OF GENERAL RELATIVITY

(prepared by A. L. Zelmanov)

A. Z. Petrov (1) showed that in the case when Einstein tensor is proportional to the metrical tensor the geometry of the four-dimensional space (space-time) is almost entirely determined by the totality of geodetics: if two such spaces allow a one-to-one correspondence between the geodetics, then either they are spaces of constant curvature or their metrical tensors differ only by a constant factor of proportionality.

Using his earlier results concerning the existence of three different types of space-time every type of which includes, in particular, its own kind of an empty world, A. Z. Petrov (2) proposed a principle for an invariant-group formulation of the boundary conditions at infinity giving to every type of space-time an appropriate kind of boundary conditions.