

## BIBLIOGRAPHY

- (1) *Bull. Astr.* Tome xvi, Fasc. I, 1951 and III, 1952.
- (2) *M.N.R.A.S.* **112**, 3, 1952.
- (3) H. Nordström: *Meddel. Lund*, Serie II, no. 79, p. 156, 1936; R. E. Wilson and H. Raymond: *A.J.* **40**, 121, 1930.
- (4) *B.A.N.* No. 391, 1948; J. Delhaye, loc. cit. p. 248, 1952.
- (5) *B.A.N.* Fasc. III, 247.
- (6) *Ap. J.* **91**, 273, 1940.
- (7) *A.J.* **56**, 67, 1951.
- (8) *B.A.N.* No. 391, 1948.
- (9) *A.J.* **45**, 183, 1936; *Publ. Leander McCormick Obs.* **7**, 21, 1937.
- (10) L. Binnendijk: *B.A.N.* No. 361, 1943.
- (11) *Radcliffe Catalogue of Proper Motions*. London: Oxford Univ. Press, 1934.
- (12) *Pub. Pulkovo*, Série 2, vol. IV. 1940.
- (13) *Pulkovo Bull.* **15**, no. 128, 1937.
- (14) *Proper Motions of Stars in the Zone Catalogue of 20843 Stars*, xxx, 1936.
- (15) *M.N.R.A.S.* **100**, 688, 1940.
- (16) *Meddel. Uppsala*, No. 72, p. 77, 1937.
- (17) See, for instance, H. Nordström, loc. cit. p. 90.
- (18) *A.J.* **56**, 58, 1951.
- (19) *B.A.N.* No. 436, 460, 1952.
- (20) *Ap. J.* **89**, 218; *Mt Wilson Cont.* No. 604, 1939.
- (21) *Ap. J.* **113**, 141, 1951.

Drs Mineur and Oort discussed briefly the question of the velocity distribution of stars in the vicinity of the Sun.

Prof. Zverev expressed the opinion that it would be advisable for Messrs Oort, Ambartsumian and others to form a small consulting committee to make immediate recommendations regarding a definite selection of stars to be observed by meridian instruments, and which would be important for problems of stellar statistics and cosmogony.

Dr Heckmann requested permission at this time to discuss the question of the necessary number of reference stars required on one plate. A short discussion ensued between Drs Brouwer, Jackson and Nemiro.

M. Mineur recalled a suggestion made by him in 1932, to use O and B stars from the HD catalogue to get a distant reference system. He also outlined a two-step method to refer stars to galactic clusters.

Dr Schatzman spoke in favour of undertaking a programme of observations of various types of stars useful in the study of stellar evolution.

### 9. UTILISATION DES OBJETS EXTRA-GALACTIQUES POUR L'ETABLISSEMENT D'UN SYSTEME ABSOLU DES MOUVEMENTS PROPRES DES ETOILES

Par A. N. DEUTSCH

1. Dans le domaine de l'astrométrie avec ses applications pratiques, ainsi que dans les problèmes de l'astronomie stellaire concernant la structure et l'évolution de la Galaxie, l'étude des mouvements propres des étoiles tient une place importante.

La méthode photographique permet de déterminer avec une grande exactitude les mouvements propres d'un nombre énorme d'étoiles, y compris les plus faibles. L'erreur systématique essentielle, dont on doit tenir compte en ce cas, est l'erreur dépendant de la magnitude de l'étoile.

Cependant, sur la plaque photographique ne peuvent être mesurés que les mouvements propres relatifs, c'est-à-dire, des mouvements qui ne contiennent pas le mouvement propre moyen des étoiles de repère, de caractère systématique ou accidentel. Ces

mouvements peuvent être obtenus à l'aide d'étoiles du catalogue fondamental, observées d'après les méthodes de l'astrométrie méridienne. Cependant les mouvements propres des étoiles, même dans les meilleurs catalogues fondamentaux, sont affectés de certaines erreurs systématiques atteignant  $0^{\prime\prime}01$  par an. Ces erreurs altèrent les résultats de la détermination des mouvements propres photographiques et amoindrissent leur exactitude.

Pour cette raison, peu de temps après la découverte de la nature extra-galactique des nébuleuses spirales, surgit l'idée d'utiliser ces objets pour l'établissement d'un système plus parfait de mouvements propres. La vitesse transversale des galaxies ne dépasse probablement pas  $1000 \text{ km./sec.}$ , le déplacement angulaire des galaxies les plus proches sera donc de  $0^{\prime\prime}001$  par an. Pour les galaxies de magnitudes visuelles 12–13 cela donne  $0^{\prime\prime}0001$  par an, ce qui est 10 fois moins grand que l'erreur des déterminations contemporaines les plus exactes de mouvements propres. Donc, pour une centaine d'années au moins, les directions des objets extra-galactiques seront pratiquement immuables. Le rattachement des étoiles de notre Galaxie à ces points immobiles de la sphère céleste permettra d'édifier un nouveau système fondamental, dont l'idée a été émise en U.R.S.S. il y a 20 ans.

2. Cette voie n'est pas sans difficultés; les principales sont les suivantes:

(a) Les galaxies ne sont pas réparties uniformément sur la sphère céleste; dans la zone galactique elles sont complètement invisibles.

(b) Les images des galaxies sur le cliché photographique diffèrent des images d'étoiles et dépendent de l'exposition et de l'émulsion; l'exactitude de mesure des galaxies est moindre que celle des étoiles par rapport aux erreurs systématiques et accidentelles.

(c) La différence de magnitude entre galaxies et étoiles du catalogue fondamental est grande et peut provoquer une erreur systématique appelée 'équation de magnitude'

Il est connu que dans le catalogue de Shapley et Ames<sup>(1)</sup>, qui contient une liste complète de 1249 galaxies jusqu'à la 13<sup>e</sup> grandeur photographique, il n'y en a pas une seule entre les limites  $-10^{\circ}$ ,  $+10^{\circ}$  de latitude galactique. Dans les zones  $\pm 10^{\circ}$ ,  $\pm 20^{\circ}$  il n'y en a que 75. Il est possible, qu'au cours de l'examen des galaxies jusqu'aux magnitudes 16 et 18 qu'accomplissent actuellement les Observatoires Lick et Harvard, soient découvertes des galaxies propres aux mesures exactes dans les 'fenêtres' de la zone d'absence.

En outre, par suite du caractère sélectif de l'absorption interstellaire de la lumière, il sera possible de gagner en force de pénétration au moyen d'une émulsion très sensible aux rayons rouges. Néanmoins, la répartition irrégulière des galaxies sur la sphère céleste reste un fait dont on doit tenir compte.

Nous devons partir du fait que pour déterminer les mouvements propres il faut employer des astrographes de distance focale de l'ordre de 2–3 mètres. De plus, pour obtenir la précision indispensable, la différence des époques des clichés ne doit pas être inférieure à 30–40 ans. L'emploi d'astrographes de plus grande longueur focale peut réduire la liste des galaxies bonnes à mesurer, car leurs images seront plus lavées et plus faibles. D'autre part, les astrographes à foyer court donneront une précision moindre. L'examen des clichés obtenus à l'aide des astrographes de Poulkovo ( $f=3.4 \text{ m.}$ ), de Moscou ( $f=6.4 \text{ m.}$ ) et de Tachkent ( $f=3.4 \text{ m.}$ ) a montré que, comme il fallait s'y attendre, les meilleures images sont celles des nébuleuses elliptiques et des spirales avec un noyau semblable à une étoile. Les nébuleuses, caractérisées dans les catalogues de Dreyer, Wolf et autres comme grandes et brillantes, mais sans condensation centrale, sont ordinairement impossibles à mesurer. Une liste provisoire de 700 nébuleuses dans 270 régions de tout le ciel a été publiée dans ce but en 1940 par Kulikovsky et Neujmin<sup>(2)</sup>. On peut supposer qu'une liste définitive des objets extra-galactiques, répondant aux exigences du problème et aux capacités d'un instrument donné, sera établie lorsque toute la région du ciel accessible à cet instrument aura été photographiée et examinée sur les clichés reçus. Mais l'effort et le temps employés pour photographier tout le ciel, surtout avec un astrographe à petit champ visuel, seront dépensés en vain, car pour notre but il suffit d'avoir des champs choisis dans le ciel, qu'on peut indiquer d'avance,

conformément au but, d'après les catalogues employés. La distribution définitive des champs s'établit ainsi graduellement, après appréciation des qualités des nébuleuses extra-galactiques, suivie de leur sélection et de leur remplacement.

L'Institut Astronomique Sternberg à Moscou a publié en 1950 une seconde liste de nébuleuses extra-galactiques, complétée à Poulkovo par de nouveaux objets remplaçant ceux ayant été exclus de la première liste. La nouvelle liste contient environ 700 nébuleuses dans 302 champs de dimensions  $2^\circ \times 2^\circ$ . L'examen des clichés obtenus dans les dernières années a montré qu'environ 20 pour-cent des nébuleuses de la première liste ne sont pas bonnes à mesurer. Cette déduction est basée sur un matériel embrassant les champs du ciel boréal et d'une partie du ciel austral jusqu'à la déclinaison  $-25^\circ$ . Les régions plus australes du ciel sont inaccessibles aux observations photographiques dans nos latitudes en raison des grandes distances zénithales, dépassant  $65^\circ$ . Pour embrasser toute la liste des nébuleuses il est indispensable que les observatoires de l'hémisphère austral prennent part à ce travail.

Au cours de cette année a été publiée une troisième liste de champs choisis, composée à Poulkovo par Deutsch et ses collaborateurs. La liste contient 157 champs de dimensions  $2^\circ \times 2^\circ$ , où se trouvent 468 galaxies mesurables. Les champs couvrent tout le ciel boréal et atteignent la déclinaison  $-5^\circ$ . Cette liste servira de base pour la photographie de première époque des objets extra-galactiques à l'aide d'astrographes à petit champ visuel.

En photographiant avec un astrographe normal (exposition une heure, plaques Agfa-Astro) on obtient comme limite des étoiles de magnitude 16 et des galaxies bonnes à mesurer de magnitude 14, quelquefois on découvre des galaxies plus faibles pouvant être mesurées. Outre l'exposition d'une heure, on fait encore à Poulkovo sur les mêmes clichés une exposition de cinq minutes en déplaçant la lunette en déclinaison. C'est important non seulement pour le contrôle, mais aussi pour des mesures et des investigations supplémentaires.

3. Examinons la question centrale du rattachement des étoiles du catalogue aux nébuleuses extra-galactiques. Un cliché d'astrographe normal couvre un champ de 4 degrés carrés sur lequel se trouvent seulement une ou deux étoiles du catalogue. Le nombre de ces étoiles dans le champ de l'astrographe zonal ( $f=2,0$  m.) qui couvre 25 degrés carrés, atteint 12, et dans le champ du nouvel astrographe de l'Observatoire Lick qui couvre 36 degrés carrés il y en aura 18.

D'autre part, le nombre des galaxies de magnitude minimum 14, même dans ce champ de 25 degrés carrés, n'atteint que quelques unités, excepté pour certaines régions où se trouvent des amas de galaxies. Si l'on va jusqu'à la magnitude 16, le nombre des galaxies mesurables augmentera, mais par suite de leur répartition irrégulière, il y aura malgré tout une certaine quantité de champs où il se trouvera moins de dix galaxies. Donc, il est impossible d'utiliser immédiatement les galaxies pour déterminer les constantes du cliché. Un prolongement de l'exposition n'est pas rationnel et les résultats sont moins précis. En outre, la différence entre les magnitudes des galaxies ( $16^m-18^m$ ) et celles des étoiles du catalogue ( $10^m$  au moyen) devient trop grande,  $6^m-8^m$ . Il n'y a pas non plus avantage à déterminer les constantes du cliché au moyen des étoiles du catalogue, car leur nombre, même dans un champ de 25 degrés carrés, est insuffisant pour la précision voulue pour la détermination des mouvements propres et leur répartition sur le cliché peut n'être pas uniforme. C'est pourquoi nous conseillons de choisir un nombre suffisant d'étoiles de repère parmi les étoiles faibles de magnitude 12-14 sans mouvements propres perceptibles, réparties uniformément sur toute la surface du cliché. Ces étoiles rattacheront les galaxies aux étoiles du catalogue.

Dans le cas où l'astrographe possède un petit champ visuel, le nombre des étoiles du catalogue dans ce champ sera insuffisant pour les rattacher sûrement aux galaxies. On peut alors ajouter des étoiles des champs contenant des galaxies, comme on l'a fait pour les champs de Kapteyn. Mais un autre moyen est préférable. En plus des régions avec nébuleuses extra-galactiques, on photographie des champs dont les centres sont désignés par des étoiles du catalogue fondamental. Le rattachement aux nébuleuses s'effectue

statistiquement à l'aide du fond général des étoiles de repère de magnitude 12-14. Ce procédé a cet avantage que les étoiles du catalogue se trouvent au milieu du cliché, et non en des places accidentelles, quelquefois même sur le bord du cliché. On peut choisir autour des galaxies et de l'étoile fondamentale un champ assez petit contenant un nombre suffisant d'étoiles de repère; tandis que les champs de 25 degrés carrés exigent un nombre considérable d'étoiles de repère. Les petits champs présentent de nombreux avantages, car en utilisant de plus grands champs nous devrions tenir compte des termes de second ordre de la réfraction pour les distances zénithales sensibles, contrôler scrupuleusement l'inclinaison de la plaque par rapport à l'axe optique, introduire des corrections nécessitées par la distorsion de l'objectif, contrôler les erreurs propres de la plaque photographique, etc.

Comme les étoiles du catalogue sont en moyenne de la 10<sup>me</sup> magnitude photographique, la différence entre elles et les étoiles de repère n'atteint que 3<sup>m</sup>. Néanmoins, pour éliminer l'erreur de 'l'équation de magnitude' nous recommandons d'employer la méthode de photographie à travers un réseau placé devant l'objectif, ce qui permet de mesurer sur la plaque les images de diffraction des étoiles brillantes. L'image centrale s'affaiblit par ce procédé de 0<sup>m</sup>.3-0<sup>m</sup>.5, ce qui peut diminuer la précision de la mesure des galaxies faibles. Sous ce rapport il est également plus avantageux de photographier les galaxies et les étoiles fondamentales séparément et d'employer des réseaux seulement pour ces dernières.

4. L'analyse de la précision des mesures a montré qu'en moyenne l'erreur de mesure des galaxies est 1.5 fois plus grande que celle des étoiles de même magnitude. L'erreur probable de la différence  $\Delta x$  ou  $\Delta y$  sur une paire de clichés est égale à  $\pm 2.5\mu$ , ce qui donne  $\pm 0.15$  à l'échelle des clichés d'un astrographe normal.

A l'Observatoire de Poulkovo ont été mesurés les mouvements propres d'étoiles de 13<sup>me</sup> magnitude relativement à une série de galaxies; pour cela on a utilisé quelques clichés anciens, pour lesquels des clichés-paires furent obtenus après un intervalle de plusieurs dizaines d'années. Ces mouvements propres doivent en moyenne représenter la somme des effets du déplacement parallactique et de la rotation galactique. Il a été possible de comparer ces résultats avec ceux qui ont été obtenus à partir des étoiles du catalogue GC de Boss, car plusieurs de ces étoiles se trouvaient sur les clichés. Une autre comparaison peut être faite en calculant ces quantités d'après les données statistiques pour les parallaxes séculaires des étoiles et les coefficients de rotation galactique.

Les résultats de cette investigation sont donnés dans les tableaux 1, 2 et 3 pour trois régions du ciel. Tous les clichés ont été pris avec l'astrographe normal de Poulkovo (3, 4).

Table 1

Région du ciel:  $\alpha = 12^h 17^m 0$ ;  $\delta = +15^\circ.9$  (1950.0);  $l = 244^\circ$ ;  $b = +75^\circ$ .  
Galaxie: NGC 4262; Type E 12<sup>m</sup>.6.

No. des paires de clichés	Différence d'époques	$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$
1	24	-0.019	-0.026
2	42	-0.012	-0.011
3	24	-0.004	-0.013
4	20	-0.034	-0.026
5	21	-0.025	-0.010
Moyenne	...	-0.018	-0.016
Erreur probable	...	$\pm 0.003$	$\pm 0.002$
Déduit de 10 étoiles GC	...	-0.015	-0.014
Erreur probable	...	$\pm 0.022$	$+ 0.002$
Déduit des données statistiques	...	-0.008	-0.004

Dans la première région on n'a pas tenu compte de 'l'équation de magnitude' Dans les deux dernières elle a été éliminée sur plusieurs paires de clichés par la comparaison des mouvements propres moyens des étoiles de magnitudes différentes avec leurs parallaxes séculaires. L'équation de magnitude se déterminait d'après la variation de cette différence

en fonction de la magnitude des étoiles. Pour les étoiles du catalogue et pour les galaxies brillantes de la troisième région la courbe de l'équation de magnitude a été extrapolée, toutefois, les corrections opérées en fonction de ces courbes ont amélioré l'accord entre les différentes paires de clichés. La discordance des données statistiques pour  $\mu_x$  dans la troisième région peut s'expliquer par une déviation de la moyenne du mouvement parallactique des étoiles de cette région.

Table 2

Région du ciel:  $\alpha = 13^h 27^m.8$ ;  $\delta = +47^\circ 27'$  (1950.0);  $l = 70^\circ$ ;  $b = +68^\circ$ .

		Galaxies		Type	m.				
		NGC 5194		Sc	10.1				
		5195		I	11.1				
		5173		E	13.2				
		5198		E	12.9				
No. des paires de clichés	Différence des époques	NGC 5194		NGC 5195		NGC 5173		NGC 5198	
		$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$	$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$	$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$	$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$
1	30	-0.003	-0.022	+0.008	-0.006	+0.004	+0.000	-0.008	-0.012
2	29	-0.023	-0.008	+0.010	-0.013	-0.009	+0.003	-0.004	+0.002
3	28	+0.002	-0.011	-0.014	+0.013	+0.005	-0.016	+0.003	-0.011
4	49	-0.014	-0.015	+0.009	+0.006	...	...	-0.006	-0.010
5	39	+0.003	-0.006	-0.011	+0.004	-0.017	-0.004	-0.016	-0.022
6	31	-0.010	-0.013	-0.014	-0.011	-0.007	+0.002	+0.012	-0.017
7	34	-0.018	+0.012	+0.008	-0.003	+0.009	-0.016	-0.018	+0.015
Moyenne		-0.009	-0.009	-0.000	-0.002	-0.005	-0.008	-0.002	-0.005
Erreur probable		$\pm 0.002$	$\pm 0.003$	$\pm 0.003$	$\pm 0.002$	$\pm 0.003$	$\pm 0.003$	$\pm 0.003$	$\pm 0.002$
Moyenne de toutes les galaxies					-0.004	-0.006			
Erreur probable					$\pm 0.001$	$\pm 0.001$			
Déduit de 3 étoiles GC					-0.005	-0.006			
Erreur probable					$\pm 0.003$	$\pm 0.001$			
Déduit des données statistiques					-0.005	-0.004			

Table 3

Région du ciel:  $\alpha = 0^h 40^m.0$ ;  $\delta = +41^\circ 0'$ ;  $l = 89^\circ$ ;  $b = -20^\circ$

		Galaxies		Type	m.			
		NGC 224		Sb	5			
		221		E	9,5			
		205		Ep	10,8			
No. des paires de clichés	Différence des époques	NGC 224		NGC 221		NGC 205		
		$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$	$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$	$\bar{\mu}_x$	$\bar{\mu}_y$	
1	43	-0.006	-0.007	-0.005	-0.011	-0.005	-0.008	
2	36	-0.005	+0.001	-0.002	-0.004	...	...	
3	42	-0.010	-0.008	+0.008	-0.004	...	...	
4	49	+0.007	-0.005	-0.004	+0.004	-0.003	-0.006	
Moyenne		-0.004	-0.005	-0.001	-0.004	-0.004	-0.007	
Erreur probable		$\pm 0.002$	$\pm 0.001$	$\pm 0.002$	$\pm 0.002$	$\pm 0.001$	$\pm 0.001$	
Moyenne de toutes les galaxies					-0.003	-0.005		
Erreur probable					$\pm 0.001$	$\pm 0.001$		
Déduit de 4 étoiles GC					-0.002	-0.004		
Erreur probable					$\pm 0.003$	$\pm 0.003$		
Déduit des données statistiques					+0.003	-0.004		

Remarquons que l'accord des résultats déduits des galaxies et des étoiles du GC est en moyenne tout-à-fait satisfaisant. Les résultats entre des clichés et des galaxies pris séparément sont naturellement d'un accord moindre.

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de ces investigations. Il est évident, en premier lieu, que pour assurer une haute précision il est indispensable d'avoir 4 ou 5 paires de clichés pour chaque champ. L'élimination de l'erreur dite 'équation de magnitude' est obligatoire pour les étoiles du catalogue. La durée d'exposition des clichés ne doit pas dépasser une heure. Il est recommandé de choisir des étoiles de magnitude photographique 12 à 14 comme étoiles de repère pour la détermination des constantes du cliché et pour le rattachement statistique des galaxies aux étoiles du catalogue. Ces étoiles de repère doivent être choisies dans les environs des galaxies et des étoiles du catalogue.

Des astrographes à champ visuel de 25 degrés carrés et plus, ainsi que des instruments du type de l'astrographe normal, que beaucoup de pays possèdent, pourraient servir à ce travail. L'accroissement du nombre des instruments permettrait de diminuer la différence des époques des clichés et accélérerait l'achèvement de l'œuvre. Il est essentiel aussi que, dans les champs contenant les galaxies, soient déterminés les types spectraux, les couleurs et les grandeurs stellaires des étoiles de repère. Comme nous l'avons déjà dit, il est absolument indispensable d'étendre cette activité à l'hémisphère austral.

#### LITTERATURE

- (1) *H.A.* **88**, no. 2, 1932.
- (2) *J. Sci. l'Univer. Kasan*, **100**, fasc. 4, 1940.
- (3) *Publ. Obs. Astr. Central*, **15**, 5, 1937.
- (4) *Publ. Obs. Astr. Central*, **19**, 1, no. 148, 1952.

#### 10. THE PRECISION OF THE DETERMINATION OF STAR MOTIONS WITH RESPECT TO THE EXTRA-GALACTIC NEBULAE

By C. D. SHANE and S. VASILEVSKIS

The programme of proper motions with the 20-inch astrograph of the Lick Observatory was conceived and planned by Dr W. H. Wright, formerly Director of the Lick Observatory. Not only did he formulate the work in considerable detail but he obtained the grant to purchase the telescope and planned it as a precision instrument admirably adapted to its purpose. A paper published in the *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. **94**, no. 1, 1950, describes the programme as formulated by Dr Wright.

At the time of Dr Wright's retirement the telescope was still in the process of adjustment and M. Shane, with the assistance of M. Wirtanen, undertook to obtain the first series of photographs. Of 1246 fields north of declination  $-23^{\circ}$ , all but about 100 have now been photographed. The plates are centred  $5^{\circ}$  apart in declination and  $5^{\circ}$  or less in right ascension. The magnitude of the faintest detectable star is 19 while nebulae are recorded as identifiable objects to magnitude 18.3. All plates are taken with a grating that gives first-order spectra four magnitudes fainter than the central images. In addition, there is on each plate a one-minute exposure displaced about one minute of arc in right ascension from the main exposure of two hours' duration. The one-minute exposure together with the grating images provide means to connect stars over a range of eight or more magnitudes without using over-exposed images.

Recently M. Vasilevskis has undertaken a study of the precision one may expect in proper motions determined from these plates. Since the observatory does not have any measuring engine that will accommodate the  $17 \times 17$ -inch photographs on the regular programme, a pair of plates 10 inches square was taken of each of two selected areas, Nos. 15 and 59. The results presented in this report are based on his measures of these plates.

On each pair of plates, approximately 25 faint nebulae having well-defined images