

III. SYMPOSIUM ON PROBLEMS OF ASTROMETRY OF FAINT STARS

11 September 1952

Dr Jackson, *Chairman*.
Dr Kulikovskiy } *Secretaries*.
Dr Reiz }

Mrs Gossner
Prof. Kharadze } *Interpreters*.
Dr Masevich }

Prof. Jackson made a few introductory remarks regarding the problem of tying the bright fundamental stars to fainter fundamental stars and then to the nebulae. He added that as the Soviet astronomers had taken a leading part in arranging this symposium and working on this problem, it was most suitable that Prof. Zverev should read the first paper.

I. LE CATALOGUE DES ETOILES FAIBLES EN TANT QUE PROBLEME ASTROMETRIQUE*

By M. S. ZVEREV

L'astrométrie est la branche la plus ancienne de l'astronomie. Le catalogue stellaire de Hipparque a été élaboré il y a 2,000 ans; le catalogue d'Ouloubek, il y a 500 ans. L'astrométrie exacte compte deux siècles; il est convenu de rapporter sa naissance à l'époque des observations remarquablement précises de James Bradley à l'Observatoire de Greenwich. L'étape la plus importante du développement de l'astrométrie fut la création de l'Observatoire de Poulkovo, que B. Gould et S. Newcomb appelaient 'la capitale astronomique du monde'. Après la publication des premiers catalogues absolus de Poulkovo, qui se distinguaient par la rigueur de leur construction et par leur haute précision, devinrent possibles des travaux d'astrométrie fondamentale, dont le développement est lié aux noms de S. Newcomb, A. Auwers et L. Boss. Leurs longues recherches continuées par leurs élèves et adeptes ont abouti de nos jours à l'achèvement de deux œuvres grandioses: l'élaboration du *General Catalogue* de Boss (GC) et du *Dritter Fundamentalcatalog des Berliner Jahrbuchs* (FK 3). Ce dernier catalogue, composé sous la direction de A. Kopff, a été adopté depuis 1940 en qualité de catalogue fondamental international.

Le GC et le FK 3 sont fondés sur les observations méridiennes d'un grand nombre d'observatoires, parmi lesquelles il faut noter les séries d'observations de Greenwich, du Cap, de Washington et Poulkovo, y compris sa filiale de Nicolaïev, qui se distinguent par leur durée et leur ordre systématique. Ces mêmes observatoires (excepté Poulkovo à présent) procèdent à des observations régulières du Soleil, de la Lune et des grandes planètes; ces observations jouent un rôle important dans l'astrométrie fondamentale.

Ces dernières années on a réalisé deux grands ouvrages d'une valeur essentielle pour l'astrométrie. L'Observatoire de Poulkovo a publié en 1948 un catalogue général contenant 2,957 étoiles du ciel boréal jusqu'à la magnitude 6, qui sont indispensables pour les travaux géodésiques⁽¹⁾. 1,600 d'entre elles proviennent de la liste de Backlund-Hough, et les 1334 autres ont été spécialement observées vers 1935 par cinq observatoires de l'U.R.S.S. A Washington, H. R. Morgan a élaboré le catalogue N₃₀ qui contient les positions exactes d'environ 5,000 étoiles brillantes, calculées sur la base de 70 catalogues observés entre 1820 et 1950. Les mouvements propres des étoiles sont déduits de la comparaison des nouvelles positions normales (époque 1930 environ) avec les positions corrigées du GC. Les investigations de G. Morgan ont permis de faire des conclusions importantes concernant les erreurs systématiques du GC et du FK 3⁽²⁾.

Un catalogue stellaire fondamental, résultat de la réunion de plusieurs catalogues d'observatoires divers, détermine un système fondamental de coordonnées célestes. En employant telle ou telle valeur de la constante de précession on peut réduire ce système de coordonnées d'une époque à une autre. La composition des catalogues fondamentaux est le problème essentiel de l'astrométrie, dont l'importance n'a pas besoin d'être

* Nous avons adopté le symbole KSZ pour le 'Katalog Slabych Zvezd', comme proposé par Dr Delhaye, pour éviter confusion entre le caractère russe з et la chiffre trois.—Editor.

prouvée. Avec le temps, les exigences concernant la précision des catalogues fondamentaux sont toujours croissantes. Les spécialistes de la géodésie, du service de l'heure et de la mécanique céleste font un grand emploi des catalogues fondamentaux et désirent que les erreurs réelles des positions des étoiles de repère, prises dans ces catalogues, ne dépassent pas $\pm 0''.1$; précision irréalisable à l'heure actuelle. L'astronomie stellaire a de très grandes exigences concernant l'exactitude des mouvements propres. La difficulté principale à satisfaire ces exigences vient du fait que l'on n'a pas encore trouvé les moyens de débarrasser les catalogues stellaires des erreurs systématiques dues surtout à l'imperfection des instruments méridiens et des méthodes de réduction des observations. A titre d'exemple on peut citer l'erreur systématique découverte par Morgan dans les mouvements propres en déclinaison des catalogues fondamentaux GC et FK 3. Cette erreur est de la forme suivante:

$$\Delta\mu_{\alpha}' = 0''.15 \cos \alpha$$

(en 100 ans), elle altère unilatéralement toutes les déterminations de la correction de la constante de précession qui ont été faites aux cours des dernières décades. Oort a montré(3) que cette erreur est provoquée par le déplacement annuel du pôle négligé et omis dans les catalogues de déclinaisons du siècle passé. Un autre exemple est fourni par le dernier ouvrage de l'astronome poulkovien B. Orlov(4) qui a démontré l'inconsistance de la méthode universellement employée pour déterminer les corrections de latitude et de la constante de réfraction. Cette méthode consiste en une comparaison des distances zénithales des étoiles observées aux moments des passages supérieurs et inférieurs. Grâce à la présence d'une flexion non éliminée, de la forme $b \sin z$, cette méthode fournit des corrections erronées et altère le système de déclinaisons de la zone équatoriale d'une quantité de l'ordre $2b$, c'est-à-dire en pratique $1''$ et quelquefois davantage.

Pour l'établissement d'un système fondamental de positions des étoiles, on emploie en général jusqu'à présent la méthode qui consiste à former la moyenne des systèmes des catalogues des observatoires. De cette manière les erreurs propres à tous les catalogues ou à une grande partie d'entre eux restent dans le catalogue fondamental. Il est vrai que les catalogues de déclinaisons élaborés par les observatoires sont préalablement corrigés; cela peut se faire par deux procédés différents: on peut utiliser les observations du Soleil et des planètes intérieures (méthode de Newcomb, largement utilisée lors de la création du FK 3); un second procédé artificiel consiste à comparer les catalogues de l'hémisphère boréal à ceux de l'hémisphère austral, ce qui permet de corriger formellement la réfraction (méthode de Boss). La dernière méthode, essentiellement empirique et formelle, a soulevé de sérieuses objections. Il est regrettable que la méthode intéressante et prometteuse de Shaposhnikov(5) n'ait pas encore été employée. Cette méthode d'établissement d'un système fondamental de déclinaisons est fondée sur le principe de la symétrie zénithale des systèmes déduits des observations.

Le point zéro d'un système d'ascensions droites—le point vernal—se détermine jusqu'à présent par des observations du Soleil et des planètes intérieures (quelquefois de la Lune aussi). Un ouvrage récent de Morgan(6) consacré à l'analyse de la correction de l'équinoxe de Newcomb d'après les observations de 200 ans a montré que ces observations sont à un haut degré altérées par des erreurs systématiques concernant les passages du Soleil et des planètes; elles ne permettent donc pas de conclure de façon définitive à la présence ou à l'absence de 'mouvement de l'équinoxe'

Le terme Δe est employé en statistique stellaire pour mettre en accord les déterminations de la constante de précession par l'analyse des mouvements propres des étoiles en ascension droite et en déclinaison: ce terme mystérieux n'a pas été expliqué jusqu'à présent et provient peut-être des erreurs systématiques des observations du Soleil et des planètes.

Une conclusion générale est que dans les observations méridiennes des étoiles brillantes avec rattachement au Soleil et aux grandes planètes, et par conséquent dans les catalogues fondamentaux fondés sur ces observations, il y a un point faible parce que les observations du bord des disques du Soleil et des planètes ne peuvent être comparées aux

observations des étoiles et s'accompagnent toujours d'erreurs systématiques spécifiques qui entrent entièrement dans les résultats des observations. Ce point vulnérable restera probablement après l'introduction de l'enregistrement automatique des passages (par exemple, par la méthode photoélectrique).

Pour cette raison il y a grand avantage à n'utiliser, pour la définition d'un système de catalogue fondamental, que des observations d'objets de genre stellaire, c'est-à-dire à remplacer le Soleil, la Lune et les grandes planètes par des astéroïdes convenablement choisis.

L'idée de l'utilisation des astéroïdes pour la définition du système d'un catalogue d'étoiles a été débattue à la conférence astrométrique de Pulkovo (1932)^(8, 9, 10). Cette idée a été développée plus tard dans les travaux de D. Brouwer⁽¹¹⁾. En utilisant plusieurs astéroïdes, dont la théorie du mouvement est bien établie, et en les observant avec précision le long de toute leur orbite nous pouvons, à la suite d'une discussion générale, obtenir non seulement des corrections pour les éléments des orbites de la Terre et des planètes, mais encore des corrections systématiques du catalogue d'étoiles, ce seront, outre les corrections constantes du système des ascensions droites et des déclinaisons, les termes dépendant des ascensions droites ($\Delta\alpha_\alpha$ et $\Delta\delta_\alpha$) et, en plus, si la série d'observations est prolongée, la correction de la constante de précession indépendamment des hypothèses concernant les mouvements des étoiles.

Des déterminations massives de positions exactes des astéroïdes ne sont possibles que par le procédé photographique. Par conséquent, le catalogue fondamental doit contenir un nombre suffisant d'étoiles faibles bonnes à être utilisées pour les mesures de positions photographiques; c'est indispensable pour pouvoir rattacher sans intermédiaire les astéroïdes au catalogue. Dans un but pratique et proche il est admissible d'utiliser les étoiles faibles d'un catalogue différentiel basé sur le catalogue fondamental en question. La solution du problème du rattachement d'un catalogue fondamental à des observations d'astéroïdes, avec la perspective d'un développement ultérieur de cette méthode, doit être rigoureuse en principe. Pour cette raison se pose un nouveau problème: l'établissement d'un catalogue fondamental contenant des étoiles faibles qui, d'une part, conviennent aux observations méridiennes, et d'autre part, peuvent être rattachées aux astéroïdes sur des clichés photographiques. Remarquons ici que le désir d'un tel catalogue, qualifié d'«idéal», a été exprimé pour la première fois en 1935 par le Dr Jackson⁽¹²⁾, alors président de la Commission no. 8 (astrométrie méridienne).

L'utilisation des astéroïdes dans l'astrométrie fondamentale est un premier argument en faveur d'un catalogue fondamental d'étoiles faibles de 8-9^{me} magnitude visuelle. Un second argument en faveur de ce catalogue est la nécessité de déterminer les mouvements propres.

Le système de coordonnées formé par le catalogue fondamental doit définir un système d'inertie n'ayant d'autre mouvement qu'un déplacement rectiligne et uniforme. Les catalogues déduits d'observations méridiennes définissent un système de coordonnées lié au Soleil. Les méthodes de l'astronomie stellaire permettent de rattacher ce système à l'ensemble des étoiles environnantes. Par suite de la rotation galactique, à laquelle le Soleil prend part, ce système de coordonnées, rigoureusement parlant, n'est pas d'inertie. L'utilisation d'objets extra-galactiques en qualité de repères fondamentaux déterminant le système de coordonnées permettra d'obtenir un système très proche du système d'inertie. Ce nouveau système d'inertie déterminé par des observations et non par des calculs sera exempt de tous les mouvements propres à notre Galaxie. La question de l'utilisation des nébuleuses extra-galactiques à des fins astrométriques a été débattue en 1932 à la conférence précitée^(7, 13); un plan concret de travaux dans ce sens fut adopté pendant la conférence de 1938⁽¹⁴⁾.

Nous ne connaissons pas encore les mouvements propres des nébuleuses extra-galactiques. Néanmoins, même si nous supposons que leurs vitesses transversales sont égales aux vitesses radiales observées, qui augmentent proportionnellement à la distance, leurs déplacements sur la sphère céleste doivent être de l'ordre du 'rougissement' exprimé en mesure d'angle; c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas dépasser 1"2 pour

10,000 ans, indépendamment de la distance. Notons une investigation récente de Ogorodnikov⁽⁴³⁾. Supposons que le 'rougissement' soit le résultat d'une expansion réelle de la partie observable de la Métagalaxie; Ogorodnikov a montré que dans ce cas les mouvements propres des nébuleuses doivent être de l'ordre de leurs vitesses radiales. Pour cette raison l'analyse des mouvements des galaxies éloignées fournit des possibilités nouvelles de découvrir la nature du 'rougissement'.

Par conséquent, les nébuleuses extra-galactiques peuvent être considérées durant une centaine d'années au moins comme des objets pratiquement immobiles sur la sphère céleste; avec leur aide on peut déterminer les mouvements propres absolus des astres. Il n'est pas nécessaire de démontrer que de tels résultats d'observations concernant les mouvements propres permettront de déterminer rigoureusement la constante de précession, d'analyser les mouvements des différents objets galactiques, d'étudier la rotation de la Galaxie. Remarquons que par suite d'une répartition visuelle très irrégulière des nébuleuses extra-galactiques, qui sont pratiquement absentes dans la zone de la Voie Lactée, il n'est possible de rattacher directement les étoiles du catalogue aux nébuleuses que dans des régions limitées du ciel. Ces rattachements n'ont quelque importance pour l'astrométrie fondamentale qu'au cas où les positions et les mouvements propres des étoiles en question sont bien déterminés dans le système du catalogue fondamental, ou, mieux encore, au cas où ces étoiles—naturellement faibles—sont incluses elles-mêmes dans le catalogue. Il est vrai qu'il existe une opinion raisonnable, qu'un rattachement sûr aux nébuleuses n'est possible que pour les étoiles de magnitude visuelle comparable à celle des nébuleuses, c'est-à-dire pour les étoiles de magnitude 12-14, et plus faibles encore.

Le problème du rattachement de ces étoiles spéciales au catalogue fondamental se résoud aussi plus simplement et plus sûrement si le catalogue lui-même se compose d'étoiles faibles dont les positions peuvent être déterminées par la méthode photographique.

On peut citer encore un argument en faveur d'un catalogue fondamental d'étoiles faibles. Les travaux nombreux et variés d'astrométrie photographique (établissement de catalogues astrographiques, analyse des mouvements de groupes d'étoiles, de planètes et de satellites) réclament un catalogue d'étoiles de repère de haute précision établi en un système fondamental unique.

Ainsi des considérations diverses nous mènent à voir que l'astrométrie moderne a grand besoin d'un catalogue contenant les positions et les mouvements propres d'une quantité suffisante d'étoiles de repère faibles, environ 20,000 pour tout le ciel; ce catalogue ne doit céder en rien par sa précision aux autres catalogues. Le nombre indiqué d'étoiles, qui correspond à une densité de $12\frac{1}{2}$ étoiles par 25 degrés carrés, permet d'utiliser ce catalogue pour le traitement des photographies prises à l'aide d'astrographes à grand champ qui se sont bien recommandés d'eux mêmes ces derniers temps au cours des travaux astrométriques. La création d'un tel catalogue d'étoiles faibles réclame les efforts communs des astrométristes de différents observatoires. Notre symposium peut faire de précieuses recommandations à ce sujet.

Avant de passer à la revue des catalogues existants et des propositions émises, nous noterons les avantages essentiels d'un catalogue fondamental d'étoiles faibles en comparaison avec les catalogues classiques d'étoiles brillantes. L'avantage principal peut être exprimé en un seul mot: 'l'homogénéité' au sens large de ce terme.

Les catalogues traditionnels d'étoiles brillantes ne sont pas homogènes par rapport aux magnitudes et aux spectres de leurs étoiles, par rapport à leur répartition dans le ciel, et, pour le GC enfin, par rapport à la précision des données. Leur utilisation dans l'astrométrie photographique est impossible sans étoiles intermédiaires. Un catalogue d'étoiles faibles de magnitudes 8-9 destiné aux travaux photographiques peut être rendu homogène en tous sens.

Nous soulignons, que la création du catalogue fondamental d'étoiles faibles ne supprime pas la question de l'amélioration nécessaire des catalogues d'étoiles brillantes. Nous approuvons la proposition de M. Kopff concernant l'agrandissement de FK 3 par des

étoiles supplémentaires, indispensables pour les travaux géodésiques. Les étoiles du ciel boréal peuvent être choisies à cet effet dans le catalogue composé à Poulkovo dont il a été question plus haut⁽¹⁾, qui doit être observé de nouveau dans quelques années par l'ensemble des observatoires de l'U.R.S.S. Notons encore que le catalogue d'étoiles faibles ne peut être édifié dès le commencement comme un catalogue fondamental dans le sens strict de ce mot. Sa rédaction première doit être faite conformément au système du catalogue fondamental adopté (FK 3); quand seront accumulées des observations absolues d'étoiles faibles et des observations d'astéroïdes assez nombreuses, se posera la question de l'établissement d'un système indépendant. Un résultat complet sera atteint seulement au bout de quelques dizaines d'années, lorsque les observations des nébuleuses extra-galactiques seront achevées et analysées, c'est-à-dire lorsque les mouvements absolus des étoiles rattachées aux nébuleuses seront connus.

Les grands travaux astrométriques concernant les étoiles faibles commencés en 1860-70 se distinguent par leur caractère collectif, par la collaboration d'un grand nombre d'observatoires. Tels, par exemple, le recueil remarquable de catalogues zonaux AGK₁, qui ont été élaborés par 19 observatoires, et l'œuvre grandiose de la 'Carte du Ciel' Depuis la fin du siècle dernier et jusqu'à présent beaucoup d'observatoires mènent des observations méridiennes pour la détermination des positions d'étoiles de repère faibles pour les catalogues astrographiques. De grandes séries d'observations de ces étoiles ont été faites à Abbadia, Paris, Toulouse, Greenwich, au Cap, à Perth, Cordoue, Uccle, etc. Les catalogues d'étoiles de repère ainsi obtenus, qui contiennent trois mille cinq cents à quatorze mille cinq cents étoiles sont fondés sur des systèmes divers: le catalogue de Newcomb N₂, celui de Boss PGC et GC; ceux du Cap et de Greenwich sont donnés dans le système de leurs instruments. Quelques *Catalogues Photographiques* (Catane, par exemple) utilisent des positions d'étoiles de repère tirées des vieux catalogues AG dont les époques d'observation diffèrent de plus de 25 années. Donc, le recueil des catalogues de la Carte du Ciel est hétérogène par rapport aux systèmes des coordonnées. La conférence astrographique internationale de 1909, qui a eu lieu à Paris, a adopté selon la proposition de J. Kapteyn une recommandation concernant une liste unique d'étoiles 'intermédiaires' de magnitude 8-9, sur lesquelles doivent se baser les observations méridiennes des étoiles de repère. En 1915 furent publiées les listes d'étoiles 'intermédiaires' Pour le ciel boréal, la liste fut dressée par Küstner et pour le ciel austral par Lagrula⁽¹⁵⁾. Dans les années suivantes quelques observatoires achevèrent les observations méridiennes de ces listes (Washington: zone +90° à -30°, Nice: zone +5° à -5°, Sydney: zone -30° à -65°). Cependant ces travaux ne furent point développés ultérieurement et la proposition de Kapteyn pour régler la question des étoiles de repère pour les *Catalogues Photographiques* demeura irréalisée. Les étoiles 'intermédiaires' de Kapteyn ne peuvent plus aujourd'hui répondre aux exigences actuelles. Il est plus conforme de baser les observations méridiennes des étoiles de repère faibles directement sur les étoiles des catalogues fondamentaux; la plupart des observateurs agissent ainsi. En ce qui concerne les déterminations photographiques, le nombre des étoiles 'intermédiaires' (6,000 environ pour l'hémisphère boréal) est insuffisant pour leur servir de base.

Un grand progrès dans la détermination massive des coordonnées des étoiles faibles a été fait au 20^{me} siècle grâce à l'emploi de la photographie avec des astrographes à grand champ. En 1914, sur l'initiative de F. Schlesinger, furent entrepris les grands travaux de l'observatoire de Yale (U.S.A.) qui consistaient en une réobservation photographique d'une partie des catalogues zonaux. Ces observations ont été faites les premiers temps avec des objectifs de Ross couvrant un champ de 25 degrés carrés et plus tard avec des objectifs 'à très grand champ' de 100 et 140 degrés carrés.

Cet observatoire vient de terminer la réobservation des catalogues zonaux de la région équatoriale entre les déclinaisons +30° à -30° On a obtenu les positions exactes de 128,000 étoiles avec une erreur probable sur chaque coordonnée de près de ±0".1. La zone de Nicolaiev a été photographiée deux fois, en 1914 et en 1937. Cette œuvre remarquable par son efficacité et la haute précision intérieure des résultats possède, à notre

10,000 ans, indépendamment de la distance. Notons une investigation récente de Ogorodnikov⁽⁴³⁾. Supposons que le 'rougissement' soit le résultat d'une expansion réelle de la partie observable de la Métagalaxie; Ogorodnikov a montré que dans ce cas les mouvements propres des nébuleuses doivent être de l'ordre de leurs vitesses radiales. Pour cette raison l'analyse des mouvements des galaxies éloignées fournit des possibilités nouvelles de découvrir la nature du 'rougissement'.

Par conséquent, les nébuleuses extra-galactiques peuvent être considérées durant une centaine d'années au moins comme des objets pratiquement immobiles sur la sphère céleste; avec leur aide on peut déterminer les mouvements propres absolus des astres. Il n'est pas nécessaire de démontrer que de tels résultats d'observations concernant les mouvements propres permettront de déterminer rigoureusement la constante de précession, d'analyser les mouvements des différents objets galactiques, d'étudier la rotation de la Galaxie. Remarquons que par suite d'une répartition visuelle très irrégulière des nébuleuses extra-galactiques, qui sont pratiquement absentes dans la zone de la Voie Lactée, il n'est possible de rattacher directement les étoiles du catalogue aux nébuleuses que dans des régions limitées du ciel. Ces rattachements n'ont quelque importance pour l'astrométrie fondamentale qu'au cas où les positions et les mouvements propres des étoiles en question sont bien déterminés dans le système du catalogue fondamental, ou, mieux encore, au cas où ces étoiles—naturellement faibles—sont incluses elles-mêmes dans le catalogue. Il est vrai qu'il existe une opinion raisonnable, qu'un rattachement sûr aux nébuleuses n'est possible que pour les étoiles de magnitude visuelle comparable à celle des nébuleuses, c'est-à-dire pour les étoiles de magnitude 12–14, et plus faibles encore.

Le problème du rattachement de ces étoiles spéciales au catalogue fondamental se résoud aussi plus simplement et plus sûrement si le catalogue lui-même se compose d'étoiles faibles dont les positions peuvent être déterminées par la méthode photographique.

On peut citer encore un argument en faveur d'un catalogue fondamental d'étoiles faibles. Les travaux nombreux et variés d'astrométrie photographique (établissement de catalogues astrographiques, analyse des mouvements de groupes d'étoiles, de planètes et de satellites) réclament un catalogue d'étoiles de repère de haute précision établi en un système fondamental unique.

Ainsi des considérations diverses nous mènent à voir que l'astrométrie moderne a grand besoin d'un catalogue contenant les positions et les mouvements propres d'une quantité suffisante d'étoiles de repère faibles, environ 20,000 pour tout le ciel, ce catalogue ne doit céder en rien par sa précision aux autres catalogues. Le nombre indiqué d'étoiles, qui correspond à une densité de $12\frac{1}{2}$ étoiles par 25 degrés carrés, permet d'utiliser ce catalogue pour le traitement des photographies prises à l'aide d'astrographes à grand champ qui se sont bien recommandés d'eux mêmes ces derniers temps au cours des travaux astrométriques. La création d'un tel catalogue d'étoiles faibles réclame les efforts communs des astrométristes de différents observatoires. Notre symposium peut faire de précieuses recommandations à ce sujet.

Avant de passer à la revue des catalogues existants et des propositions émises, nous noterons les avantages essentiels d'un catalogue fondamental d'étoiles faibles en comparaison avec les catalogues classiques d'étoiles brillantes. L'avantage principal peut être exprimé en un seul mot: 'l'homogénéité' au sens large de ce terme.

Les catalogues traditionnels d'étoiles brillantes ne sont pas homogènes par rapport aux magnitudes et aux spectres de leurs étoiles, par rapport à leur répartition dans le ciel, et, pour le GC enfin, par rapport à la précision des données. Leur utilisation dans l'astrométrie photographique est impossible sans étoiles intermédiaires. Un catalogue d'étoiles faibles de magnitudes 8–9 destiné aux travaux photographiques peut être rendu homogène en tous sens.

Nous soulignons, que la création du catalogue fondamental d'étoiles faibles ne supprime pas la question de l'amélioration nécessaire des catalogues d'étoiles brillantes. Nous approuvons la proposition de M. Kopff concernant l'agrandissement de FK 3 par des

étoiles supplémentaires, indispensables pour les travaux géodésiques. Les étoiles du ciel boréal peuvent être choisies à cet effet dans le catalogue composé à Poulkovo dont il a été question plus haut⁽¹⁾, qui doit être observé de nouveau dans quelques années par l'ensemble des observatoires de l'U.R.S.S. Notons encore que le catalogue d'étoiles faibles ne peut être édifié dès le commencement comme un catalogue fondamental dans le sens strict de ce mot. Sa rédaction première doit être faite conformément au système du catalogue fondamental adopté (FK 3), quand seront accumulées des observations absolues d'étoiles faibles et des observations d'astéroïdes assez nombreuses, se posera la question de l'établissement d'un système indépendant. Un résultat complet sera atteint seulement au bout de quelques dizaines d'années, lorsque les observations des nébuleuses extra-galactiques seront achevées et analysées, c'est-à-dire lorsque les mouvements absolus des étoiles rattachées aux nébuleuses seront connus.

Les grands travaux astrométriques concernant les étoiles faibles commencés en 1860–70 se distinguent par leur caractère collectif, par la collaboration d'un grand nombre d'observatoires. Tels, par exemple, le recueil remarquable de catalogues zonaux AGK₁, qui ont été élaborés par 19 observatoires, et l'œuvre grandiose de la 'Carte du Ciel' Depuis la fin du siècle dernier et jusqu'à présent beaucoup d'observatoires mènent des observations méridiennes pour la détermination des positions d'étoiles de repère faibles pour les catalogues astrographiques. De grandes séries d'observations de ces étoiles ont été faites à Abbadia, Paris, Toulouse, Greenwich, au Cap, à Perth, Cordoue, Uccle, etc. Les catalogues d'étoiles de repère ainsi obtenus, qui contiennent trois mille cinq cents à quatorze mille cinq cents étoiles sont fondés sur des systèmes divers: le catalogue de Newcomb N₂, celui de Boss PGC et GC, ceux du Cap et de Greenwich sont donnés dans le système de leurs instruments. Quelques *Catalogues Photographiques* (Catane, par exemple) utilisent des positions d'étoiles de repère tirées des vieux catalogues AG dont les époques d'observation diffèrent de plus de 25 années. Donc, le recueil des catalogues de la Carte du Ciel est hétérogène par rapport aux systèmes des coordonnées. Le conférence astrographique internationale de 1909, qui a eu lieu à Paris, a adopté selon la proposition de J. Kapteyn une recommandation concernant une liste unique d'étoiles 'intermédiaires' de magnitude 8–9, sur lesquelles doivent se baser les observations méridiennes des étoiles de repère. En 1915 furent publiées les listes d'étoiles 'intermédiaires' Pour le ciel boréal, la liste fut dressée par Küstner et pour le ciel austral par Lagrula⁽¹⁵⁾. Dans les années suivantes quelques observatoires achevèrent les observations méridiennes de ces listes (Washington: zone +90° à –30°, Nice: zone +5° à –5°, Sydney: zone –30° à –65°). Cependant ces travaux ne furent point développés ultérieurement et la proposition de Kapteyn pour régler la question des étoiles de repère pour les *Catalogues Photographiques* demeura irréalisée. Les étoiles 'intermédiaires' de Kapteyn ne peuvent plus aujourd'hui répondre aux exigences actuelles. Il est plus conforme de baser les observations méridiennes des étoiles de repère faibles directement sur les étoiles des catalogues fondamentaux; la plupart des observateurs agissent ainsi. En ce qui concerne les déterminations photographiques, le nombre des étoiles 'intermédiaires' (6,000 environ pour l'hémisphère boréal) est insuffisant pour leur servir de base.

Un grand progrès dans la détermination massive des coordonnées des étoiles faibles a été fait au 20^{me} siècle grâce à l'emploi de la photographie avec des astrographes à grand champ. En 1914, sur l'initiative de F. Schlesinger, furent entrepris les grands travaux de l'observatoire de Yale (U.S.A.) qui consistaient en une réobservation photographique d'une partie des catalogues zonaux. Ces observations ont été faites les premiers temps avec des objectifs de Ross couvrant un champ de 25 degrés carrés et plus tard avec des objectifs 'à très grand champ' de 100 et 140 degrés carrés.

Cet observatoire vient de terminer la réobservation des catalogues zonaux de la région équatoriale entre les déclinaisons +30° à –30° On a obtenu les positions exactes de 128,000 étoiles avec une erreur probable sur chaque coordonnée de près de ±0".1. La zone de Nicolaiev a été photographiée deux fois, en 1914 et en 1937. Cette œuvre remarquable par son efficacité et la haute précision intérieure des résultats possède, à notre

avis, un défaut essentiel en ce qui concerne le système de coordonnées mis à la base du catalogue. Les positions des étoiles de repère utilisées par Schlesinger et Barney pour les mesures des clichés sont le résultat d'observations méridiennes d'observatoires isolés, et notamment de Lick (zone $+20^\circ$ à $+30^\circ$), de Washington (zone -10° à -20°), du Cap (zones 0° à -10° et -20° à -30°) et de Greenwich (zone 0° à $+20^\circ$). Les deux premiers se basaient sur le système d'Eichelberger, les deux derniers sur les systèmes de leur propre instrument. En fin de compte le beau complexe des Catalogues de Yale demeure hétérogène en ce qui concerne le système.

Récemment à l'Institut Astronomique d'Etat Sternberg fut faite sous notre direction une analyse de deux catalogues de Yale (zones $+20^\circ$ à $+25^\circ$ et $+25^\circ$ à $+30^\circ$) par comparaison avec le catalogue AGK₂A dont l'époque d'observation est proche de celle des catalogues examinés. Environ 2000 étoiles communes furent examinées. Il fut établi que les différences systématiques des déclinaisons de chaque catalogue avec celles de AGK₂A varient avec une amplitude atteignant $1''.3$ ($\Delta\delta_y$ atteint $0''.7$, $\Delta\delta_z - 0''.6$). La cause de ces variations se trouve essentiellement dans les Catalogues de Yale, car dans le catalogue méridien général AGK₂A rattaché au FK 3 par des observations de séries d'étoiles fondamentales faites par chaque observatoire, de telles erreurs systématiques sont improbables. Nous avons cité cet exemple pour montrer que même dans les travaux modernes les plus étendus en astrométrie photographique se manifeste un manque de rigueur nécessaire dans le choix des étoiles de repère; en conséquence l'homogénéité du système des catalogues photographiques n'est pas garantie. Il nous semble qu'actuellement il n'est guère recommandable d'employer des catalogues méridiens isolés, comme base de travaux embrassant de grandes régions du ciel.

Une seconde œuvre importante de réobservation photographique des catalogues zonaux du ciel boréal, accomplie en Allemagne avec le concours de l'observatoire de Poulkovo, fut organisée irréprochablement en ce qui concerne les étoiles de repère. La liste de 13,747 étoiles de repère fut observée à l'aide des cercles méridiens de sept observatoires avec un rattachement rigoureux au catalogue FK 3⁽¹⁶⁾. Pour la plupart des étoiles il a été obtenu 6 observations par trois observatoires; les observations ont été faites dans les mêmes années (1928-32) que les photographies des zones à Bergedorf, Bonn et Poulkovo à l'aide d'astrographes zonaux Zeiss. Le catalogue de Poulkovo des zones boréales ($+90^\circ$ à $+70^\circ$) a été publié par S. Beljavsky en 1947⁽¹⁷⁾. Récemment ont paru les 4 premiers tomes de l'AGK₂, contenant les zones $+90^\circ$ à $+50^\circ$, observées à Bergedorf. Les 6 tomes restants des zones de Bergedorf et 5 tomes des zones photographiées à Bonn doivent paraître prochainement. Cette œuvre bien organisée a permis d'obtenir les positions exactes basées sur le système FK₃ de 180,000 étoiles du ciel boréal ($+90^\circ - 2^\circ$) pour l'époque 1930 environ avec une erreur probable sur chaque coordonnée proche de $\pm 0''.1$. Les travaux d'élaboration de catalogues photographiques zonaux pour le ciel austral (-30° à -90°) sont régulièrement menés par l'observatoire du Cap. Les catalogues des positions et des mouvements propres de 41,500 étoiles de la zone astrographique -40° à -52° sont déjà publiés⁽¹⁸⁾. Les autres zones australes sont systématiquement photographiées depuis 1935 à l'aide d'un astrographe à grand champ. Nous avons appris par les comptes rendus que les zones -30° à -40° sont achevées; les zones -52° à -64° sont photographiées et mesurées (la zone -56° à -60° est réduite à Greenwich), les zones -64° à -80° sont seulement photographiées. Les positions des étoiles de repère sont déterminées au Cap par des observations méridiennes menées parallèlement à l'observation photographique des zones.

L'observatoire de Yale a renouvelé ses travaux d'observation des catalogues zonaux. Dans les années 1948-50 les zones $+50^\circ$ à $+90^\circ$ ont été photographiées avec un astrographe couvrant un champ de 121 degrés-carrés. Les mesures des clichés doivent être faites automatiquement à l'aide d'un appareil de mesure photoélectrique construit sous la direction de Eckert. Les observations des étoiles de repère pour ce programme ont été faites à l'aide du cercle méridien de 6 pouces à l'observatoire naval de Washington.

Cet aperçu sommaire nous montre que nous aurons bientôt des résultats grandioses de réobservation des catalogues zonaux—des positions exactes d'environ 280,000 étoiles des

deux hémisphères du ciel jusqu'à la 9^e magnitude incluse. Deux tiers de ces résultats sont déjà publiés. Des données encore plus vastes pour les étoiles jusqu'à la 11^{me} magnitude se trouvent dans les catalogues photographiques de la *Carte du Ciel*. Les étoiles des nouveaux catalogues zonaux et photographiques sont déjà utilisées pour des travaux d'astrométrie photographique; on y rattache les positions de divers objets célestes, d'astéroïdes en particulier; on les emploie pour l'analyse des mouvements propres d'étoiles isolées et en statistique stellaire. Il est certain que leurs applications seront de plus en plus nombreuses avec le temps. Les astrométristes doivent avoir conscience de la responsabilité qu'ils assument, celle notamment de la mise en ordre des données richissimes dont ils disposent, de leur réduction en un tout homogène par une analyse détaillée des erreurs systématiques des catalogues photographiques par rapport au meilleur système fondamental.

Les grandes exigences concernant le système de coordonnées des catalogues zonaux et photographiques sont étroitement liées au problème de la détermination des mouvements propres. Un certain nombre de catalogues astrographiques (ceux de Yale, par exemple) contient des mouvements propres obtenus par la comparaison des positions photographiques nouvelles avec les positions de AGK₁, la différence des époques étant de 40–70 ans. Mais ces mouvements peuvent être considérés seulement comme une approximation assez grossière car les positions des étoiles faibles dans les anciens catalogues zonaux AG sont entachées d'erreurs systématiques assez grandes (en ascension droite cette erreur est due en grande partie à l'équation de magnitude) qui sont d'origine inconnue.

Un important travail d'analyse des catalogues zonaux AGK₁ se poursuit actuellement sur l'initiative de Kopff dans les observatoires allemands (19). Kopff a proposé de dresser une liste spéciale de 3000 étoiles faibles, de 8^e–10^e magnitude, prises dans le catalogue d'étoiles de repère AGK₂A, pour lesquelles existent des positions méridiennes exactes de l'époque 1900 (par exemple dans les zones 0° à +51° du catalogue de Küstner de 1900.0, qui est exempt d'équation de magnitude). De nouvelles observations de ces étoiles basées sur le système FK 3, en combinaison avec les positions de l'AGK₂ A pour 1930 et celles de 1900 permettront de calculer leurs coordonnées pour les anciennes observations zonales et, partant, de déterminer les erreurs systématiques des catalogues AGK₁. Une liste de 3332 étoiles, composée par Larink, est observée maintenant à Bergedorf et à Heidelberg. Il serait utile d'adjoindre à ce travail d'autres observatoires possédant des instruments méridiens puissants permettant d'observer des étoiles de magnitude 10.

Notons le travail intéressant de l'observatoire de Bergedorf, poursuivi sous la direction de Heckmann (20) où ce même problème—la détermination des erreurs systématiques des catalogues zonaux anciens AGK₁—se résout par la combinaison des positions de AGK₂ et de celles des catalogues photographiques (zones de Paris et de Bordeaux) révisés à partir de positions améliorées des étoiles de repère.

La mise en bon état des catalogues astrographiques—des catalogues zonaux, en premier lieu—et leur rattachement à un système fondamental unique est un problème compliqué. Il peut être résolu par des voies diverses, soit en utilisant des systèmes fondamentaux initiaux divers, soit en se servant des données déjà existantes (par exemple à l'aide du AGK₂A), ou bien en organisant des observations nouvelles. En tenant compte de la grande importance de cette question, liée aux problèmes essentiels de l'astrométrie fondamentale, nous trouvons judicieux l'emploi de voies et de méthodes diverses, sans craindre un certain parallélisme, ce qui peut donner un contrôle utile. Les catalogues zonaux sont pour la plupart composés d'étoiles de 8^e–9^e magnitude; aussi, en principe, la meilleure méthode pour réunir les catalogues en un tout homogène serait la suivante: (1) composition d'une liste de plusieurs milliers d'étoiles de ces catalogues considérées comme 'fondamentales'; (2) observation de ces étoiles par une communauté d'observatoires des deux hémisphères sur la base du meilleur système fondamental moderne. Il est naturel de relier cette œuvre au problème considéré ci-dessus de la création d'un catalogue fondamental d'étoiles faibles, avec utilisation des observations des astéroïdes et des nébuleuses extra-galactiques.

L'idée d'édifier un catalogue méridien de haute précision contenant plusieurs milliers

d'étoiles faibles, qui deviendra fondamental, est à la base d'une grande œuvre collective entreprise en U.R.S.S. depuis 1938. L'idée de ce catalogue fut émise pour la première fois à Poulkovo pendant la conférence astrométrique de 1932⁽⁷⁾; le plan concret du travail a été approuvé par la conférence de 1938 à Poulkovo⁽¹⁴⁾. On sait que l'œuvre du Catalogue d'étoiles faibles de l'U.R.S.S. se divise en cinq problèmes étroitement liés⁽²¹⁾: (1) Observations méridiennes absolues de près de 1000 étoiles faibles fondamentales; (2) Rattachement de ces étoiles au catalogue FK 3 par des observations méridiennes différentielles; (3) Observations méridiennes de près de 20,000 étoiles du grand catalogue; (4) Observations photographiques et visuelles d'astéroïdes choisis; (5) Observations photographiques des nébuleuses extra-galactiques.

En 1939 l'Institut Astronomique d'État Sternberg (Moscou) élabora une liste de 93 étoiles faibles fondamentales, dont 645 au nord de la déclinaison -30° , et commença à dresser la liste des étoiles du grand catalogue. Les étoiles fondamentales de magnitudes visuelles 7.5–8.5 et de spectres G et K, régulièrement réparties en ascension droite et en déclinaison (et non sur la sphère céleste!), ont été principalement tirées du GC de Boss. En 1940 plusieurs observatoires soviétiques commencèrent les observations méridiennes rattachées au FK 3. Ces observations de 645 étoiles faibles dans le système FK 3 d'après le règlement établi à Poulkovo⁽²²⁾ ont été reconnues obligatoires pour chaque instrument méridien, car elles permettaient d'obtenir parallèlement au catalogue des données concernant les propriétés de l'instrument. Une liste préalable de nébuleuses extra-galactiques, pour la plupart de magnitude globale 12 à 14 composée à Moscou par Kulikovsky, fut revue et complétée par Neujmin⁽²³⁾. Des clichés d'essai des nébuleuses extra-galactiques furent obtenus à Poulkovo, Moscou, Tachkent et Siméiz.

L'Institut d'Astronomie Théorique de Leningrad procéda à l'élaboration d'une théorie précise du mouvement des astéroïdes choisis. Tous ces travaux commencés avec succès furent brutalement interrompus par la guerre, qui causa de grandes pertes à l'astronomie en premier lieu, par la destruction complète de l'observatoire de Poulkovo. La guerre a beaucoup retardé l'accomplissement de l'œuvre du Catalogue des étoiles faibles.

À l'heure actuelle les observations de 645 étoiles faibles fondamentales au nord de la déclinaison -30° dans le système FK 3 sont terminées et réduites à Tachkent en α ⁽²⁴⁾ à Kazan (observatoire Engelhardt) en δ ⁽²⁵⁾ et à Kiev en δ . La réduction en α et δ se termine à Odessa. Le travail continue à Kharkov (α, δ) et à Kiev (α). Depuis 1950 les observations des deux coordonnées ont commencé aussi à Wrocław (Pologne). Les observations absolues de ces étoiles sont presque terminées à Tachkent (α) et à Kazan (δ). Les instruments méridiens de l'Observatoire reconstruit de Poulkovo sont entrés en service cette année. Le programme des observations absolues à l'aide du grand instrument des passages et du cercle vertical comprend 1089 étoiles, dont 558 étoiles brillantes du plan de Struve et 531 étoiles faibles fondamentales au nord de la déclinaison -10° . Ainsi à Poulkovo se réalise la liaison directe entre le programme traditionnel des étoiles brillantes et le catalogue des étoiles faibles. Les observations absolues des étoiles faibles fondamentales sont également envisagées à l'observatoire de Wrocław; des observations différentielles dans le système FK 3 seront faites à Nicolaïev et à Moscou. Lorsque les travaux indiqués pour chacun de ces observatoires seront terminés, on disposera de près de 50 observations de chaque coordonnée pour les étoiles au nord de la déclinaison -10° dont la moitié sera obtenue par des méthodes absolues.

L'Institut Sternberg (Moscou) a récemment terminé la composition des listes d'étoiles pour le catalogue des étoiles faibles au nord de la déclinaison -30° ⁽²⁶⁾. Deux listes ont été composées, l'une pour les déclinaisons $+20^\circ$ à $+30^\circ$, l'autre pour les déclinaisons $+30^\circ$ à -30° ; les deux listes contiennent 15,355 étoiles, ce qui fait 12 étoiles par 25 degrés carrés. Les étoiles des listes ont des magnitudes visuelles de 7.5 à 9.1 (les magnitudes photographiques sont 8.5–10), les spectres sont pour la plupart G et K, les mouvements propres annuels sont inférieurs à $0''.04$. On s'est tout particulièrement attaché à exclure de la liste les étoiles doubles, et celles qui sont trop rouges (spectres plus avancés que Mo), leurs positions sur les clichés pouvant être altérées par suite des particularités

chromatiques de l'objectif et, partiellement, par la dispersion atmosphérique. Près de la moitié des étoiles du Catalogue des étoiles faibles ont été puisées à des sources autorisées, telles que AGK₂A, GC, les listes internationales des 'étoiles intermédiaires'⁽¹⁵⁾, le catalogue des étoiles zodiacales⁽²⁷⁾ etc. Pour la liaison avec le plan des Selected Areas on a inclus dans les listes 3-4 étoiles de repère dans chaque champ (du programme de van Rhijn).⁽²⁸⁾ La statistique des étoiles faite par rapport aux magnitudes, aux spectres et aux mouvements propres a montré que le Catalogue d'étoiles faibles est d'une composition suffisamment homogène. On peut remarquer seulement une légère prédominance naturelle d'étoiles plus lointaines près de l'équateur galactique, par rapport aux pôles galactiques où les mouvements propres des étoiles sont en moyenne de 20 pour cent supérieurs à ceux de la Voie Lactée. Une étoile moyenne KSZ possède la magnitude visuelle 8.5, un indice de couleur de $+1^m.1$ (spectre G6) et un mouvement propre annuel de $0''.02$. Ces listes ont été approuvées par la Conférence astrométrique de Leningrad en 1950. Tous les observatoires mentionnés ci-dessus ont exprimé le désir de participer aux observations que l'on se propose de faire surtout par zones de 20° en prenant pour repères 645 étoiles faibles fondamentales.

Actuellement on photographie les nébuleuses extra-galactiques avec les astrographes de Poulkovo, de Moscou, de Kiev et de Tachkent. Depuis 1939 on a obtenu près de 1000 photos. La grande expérience de ces observatoires montre que parmi les galaxies de magnitude 12 à 14 beaucoup possèdent une structure symétrique ou des noyaux et des concentrations bien distincts, permettant de mesurer précisément les positions par rapport aux étoiles. Cependant, il s'est avéré que l'aspect des nébuleuses sur les photos dépend en grande partie de la durée de la pose et de la qualité de l'émulsion. Un noyau qui n'est pas disposé au centre, ou des nœuds, ne se manifestant souvent pas sur les photos superexposées, les mesures des photographies à poses et émulsions différentes peuvent conduire à des résultats foncièrement différents. L'expérience accumulée aboutit à la conclusion que la seule méthode satisfaisante d'utilisation des nébuleuses pour la déduction des mouvements propres précis des étoiles, est la méthode des mesures différentielles, en choisissant des photos de la première et de la deuxième époques ayant un maximum de similitude des images. Pour ce que est de la durée de la pose elle varie pour certaines nébuleuses.

La liste des nébuleuses extra-galactiques de Kulikovsky-Neujmin a été plusieurs fois révisée afin d'améliorer la distribution des objets observés dans le ciel (il est impossible ici d'atteindre une distribution régulière) et pour éliminer les nébuleuses qui ne sont pas utilisables à des fins astrométriques. La dernière révision a été faite en 1951 par le professeur A. N. Deutsch et ses collaborateurs sur la base d'un examen minutieux de plus de 450 photos de Poulkovo et de Tachkent. La liste pour la totalité du ciel comprend environ 300 régions avec nébuleuses et on peut considérer comme définitives les données pour l'hémisphère boréal. On a l'intention de choisir dans chaque région à nébuleuses plusieurs étoiles de repère supplémentaires pour les inclure dans la liste KSZ et dans le programme des observations méridiennes. Sur la proposition des astronomes de Moscou spécialisés dans l'astronomie stellaire, on a annexé à la liste des nébuleuses une liste de 73 céphéides faibles à longue période (éclat maximum: magnitude 10) disposées le long de l'équateur galactique pour les photographier simultanément avec les nébuleuses.

Les travaux entrepris en U.R.S.S. sur les petites planètes pour le catalogue des étoiles faibles se poursuivent à l'Institut d'Astronomie théorique de Leningrad, d'après l'étude précise du mouvement des astéroïdes Cérés, Pallas, Junon, Hébé et Laetitia. Les observations précises de ces petites planètes ainsi que celles de Vesta sont menées à Poulkovo à l'aide d'un astrographe normal (champ $2^\circ \times 2^\circ$). Lors de la mesure des photographies on utilise les étoiles repères des catalogues zonaux de l'observatoire de Yale avec inscription obligatoire des étoiles KSZ prises sur les photographies. Malheureusement, l'astrographe zonal de Poulkovo qui s'adaptait particulièrement bien à la photographie des petites planètes a été détruit à Simeiz pendant la guerre.

Notons qu'actuellement la photographie des nébuleuses extra-galactiques et des petites planètes aux fins de l'astrométrie fondamentale se poursuit également aux Etats

Unis. Les régions à nébuleuses extra-galactiques sont photographiées à l'observatoire de Lick à l'aide d'un astrographe de 50 cm. couvrant un champ de $6^{\circ} \times 6^{\circ}$. Ce travail constitue une partie du plan général de photographie du ciel au nord de la déclinaison -20° avec une durée de pose de 2 heures et avec un réseau devant l'objectif. Les dépouillements des clichés seront faits à l'avenir après obtention des clichés de deuxième époque.

A l'observatoire de Yale on travaille depuis 1935 d'après le plan de D. Brouwer⁽¹¹⁾ à déterminer photographiquement les positions de 16 astéroïdes pour la déduction des corrections systématiques des catalogues fondamentaux. Suivant ce plan, prennent part également aux observations l'observatoire Allegheny, la station sud de Yale-Columbia et l'observatoire de Leyde⁽²²⁾. D'après les rapports, les observations devaient être terminées en 1948. Les éphémérides astrométriques précises des quatre premières petites planètes Cérés, Pallas, Junon et Vesta qui furent publiées pour les années 1950 et 1951 dans les *Circulaires* de l'Observatoire Naval de Washington et depuis 1952 dans *Nautical Almanac* en Grande Bretagne, sont d'une aide précieuse pour l'utilisation des astéroïdes en astrométrie fondamentale.

Nous avons brièvement caractérisé l'état actuel des travaux pour l'élaboration d'un Catalogue des étoiles faibles et des travaux, qui leur sont proches au point de vue de leurs idées et buts, de photographie des nébuleuses extra-galactiques et des petites planètes. Ces travaux sont effectués surtout par les observatoires de l'hémisphère nord, ce qui ne peut être considéré comme satisfaisant, car un catalogue fondamental doit englober le ciel tout entier, afin de pouvoir pleinement satisfaire à sa destination, consistant à établir dans le ciel un système principal de coordonnées. C'est pourquoi nous serions heureux de voir coopérer à nos travaux d'autres observatoires possédant des instruments appropriés et surtout les observatoires de l'hémisphère sud. Nous espérons que le symposium appuyera ce vœu.

Nos listes des étoiles faibles fondamentales et des nébuleuses extra-galactiques englobent les deux hémisphères. La dernière liste concernant les nébuleuses de l'hémisphère austral a été élaborée d'après la littérature et demande à être précisée après examen des clichés expérimentaux. Jusqu'à présent nous ne nous sommes pas occupés de la troisième partie du Catalogue des étoiles faibles (KSZ₃) pour les déclinaisons au sud de -30° , car les données publiées sur le ciel austral sont encore insuffisantes pour la sélection des étoiles d'après nos critères. En particulier, on manque de données pour les déterminations massives des mouvements propres des étoiles faibles de 8^e-9^e magnitude, excepté la zone astrographique du Cap depuis -40° jusqu'à -52° . Le prolongement de la liste KSZ jusqu'au pôle sud ne sera pratiquement possible qu'après utilisation des résultats des observations photographiques des autres zones australes à l'observatoire du Cap.

Le principe fondamental de notre organisation des observations du Catalogue des étoiles faibles réside dans l'autonomie complète des observatoires—qui procèdent eux-mêmes à la réduction des observations et en publient eux-mêmes les résultats. L'observatoire de Poulkovo et l'Institut Sternberg leur viennent en aide en fournissant aux observatoires des données auxiliaires, les nombres de Bessel par exemple (minuscules pour toutes les étoiles faibles du programme), les tables des paramètres de précession, ainsi que les réductions pour les lieux apparents des 645 étoiles faibles fondamentales au nord de la déclinaison -30° qui sont calculées par des machines à calculer analytiques de l'Institut d'Astronomie théorique en coopération avec l'Observatoire de Poulkovo. En cas de besoin ces éphémérides peuvent être prolongées jusqu'à la zone du pôle sud.

L'organisation de nouvelles grandes séries d'observations méridiennes des étoiles faibles, y compris les observations des étoiles fondamentales par des méthodes absolues et les observations différentielles du grand catalogue, doit être conforme au niveau moderne de la technique et assurer des résultats de haute précision. C'est pourquoi nous attirons ici l'attention sur deux problèmes principaux: (1) l'étude des instruments et leur contrôle; (2) l'automatisation de l'enregistrement des observations.

(1) L'expérience des travaux de différents observatoires et services de l'heure a prouvé de façon convaincante au cours de ces dernières années que les instruments méridiens

exigent expressément un contrôle effectif de l'axe optique (ligne de visée). A. Danjon qui a étudié deux instruments méridiens attire particulièrement l'attention sur ce point (30). Y sont incluses les questions concernant l'étude de l'inclinaison et de l'azimut de l'axe, de la collimation, des flexions les plus variées des instruments. Les déformations de l'instrument dues à la température sont particulièrement complexes et provoquent un terme diurne et annuel dans les résultats des observations ainsi que certains effets subtils (par exemple 'l'effet de vent' (34)). Des données intéressantes sur la conduite de l'instrument ont été obtenues à l'observatoire de Greenwich où l'on étudie depuis plusieurs années le nouveau cercle méridien à retournement (32).

Notons encore les recherches de G. K. Zimmermann à l'observatoire de Nicolaïev. Cet auteur a montré définitivement que les divergences systématiques bien connues des cercles verticaux 'Ertel-Repsold' sont dues à la présence de flexions non éliminées, c'est-à-dire de flexions qui ne peuvent pas être éliminées par échange de l'objectif et de l'oculaire.

L'une des causes possibles d'une telle 'flexion' réside dans la déformation et le déplacement de l'objectif dans sa monture qui peuvent se produire par suite des variations de température. Cette question a été étudiée par Soukharev qui a proposé un système d'objectif à autocalibration. Dans cet objectif la position du centre optique ne se déplace pas en cas de chocs mécaniques et de variations de température. Notons également des résultats intéressants obtenus à l'Observatoire Naval de Washington pour la détermination séparée de la flexion du tube et du cercle d'un instrument méridien de 9", d'après les observations des collimateurs horizontaux et verticaux avec changement de position du cercle par rapport au tube (36).

Nous supposons que pour obtenir des résultats de haute précision, surtout quand il s'agit d'observations absolues, la détermination de chaque paramètre fondamental de l'instrument doit être faite par contrôle indépendant. Ainsi, par exemple, la collimation déterminée à l'aide de collimateurs horizontaux et l'inclinaison calculée à l'aide d'un niveau, doivent être contrôlées par l'observation de l'horizon du mercure dans le nadir. Il importe surtout d'appliquer plusieurs méthodes pour déterminer la flexion, par exemple les lectures des collimateurs horizontaux et, si possible, verticaux qui doivent être combinées avec l'examen de la flexion du tube selon la méthode de Bonsdorff (37).

Lors des déterminations différentielles, on tient compte des erreurs systématiques d'origine instrumentale ou autres au moyen des observations de séries d'étoiles de repère, proposées par Küstner et utilisées avec succès lors de l'élaboration de l'AGK₂A et du Catalogue des étoiles géodésiques (1). L'expérience montre que ces séries garantissent effectivement une liaison étroite entre les résultats des observations différentielles et le système du catalogue fondamental.

(2) Lors de l'organisation des observations méridiennes des grands catalogues l'automatisation de l'enregistrement des observations acquiert une importance extraordinaire. Les observations astronomiques du service de l'heure de l'Observatoire de Poulkovo depuis 1940 se font par la méthode d'enregistrement photoélectrique des passages stellaires élaborée par le professeur Pavlov (38). Ces temps derniers les observations photoélectriques des étoiles sont faites également par Brandt du service de l'heure de Moscou Mg. L'application du photomultiplicateur a permis à Brandt de diminuer le retard de l'enregistrement de 0.03 sec. et d'accroître sensiblement la stabilité de tous les éléments du schéma. Brandt enregistre les observations sur un photochronographe dont il est l'auteur (39) et où, en cas de court circuit dans la chaîne externe, s'allume une lampe au néon, tandis que la pellicule reproduit les indications d'un disque tournant rapidement, synchronisé avec une horloge. La précision de l'enregistrement est d'environ 0.002 sec. Un appareil de construction similaire a été conçu par Reiz à l'observatoire de Lund (40).

Certains observatoires ont introduit ces temps derniers l'enregistrement photographique des graduations du cercle, mais la trop grande difficulté de la mesure visuelle des films complique l'application de cette méthode à une vaste échelle. Selon toute apparence l'appareil à projection pour la mesure des films fait à Ottawa (41) facilite grandement

cette opération. Watts a fait mieux encore en construisant un appareil pour la mesure automatique des films par la méthode photoélectrique⁽⁴²⁾. Il faut noter également d'autres perfectionnements introduits par Watts dans la technique des observations au cercle méridien de 6" de l'Observatoire Naval de Washington : mouvements automatiques du fil du micromètre à l'aide d'un petit moteur synchronisé, avec possibilité de changer les vitesses; photographie des graduations du tambour du micromètre au moment du contact de l'horloge ce qui permet de ne pas se servir du chronographe; photographie sur les mêmes films des indications du micromètre de déclinaison. Ces perfectionnements ont amené un accroissement réel de la précision de l'enregistrement et une diminution des erreurs jusqu'à des grandeurs négligeables.

Je voudrais encore poser une question devant les observateurs des astrographes à grand champ et tout particulièrement devant les astronomes de l'Observatoire de Yale qui emploient des objectifs à très grand champ de vision de 10 et 140 degrés carrés. Avec un champ aussi grand doit augmenter l'influence de la réfraction différentielle et de la dispersion atmosphérique ainsi que de la distorsion de l'objectif. Peut-être même se trouve-t-on ici en présence d'erreurs instrumentales par suite des variations de température. Pour compenser toutes ces influences il faut que le nombre d'étoiles de repère sur la plaque soit assez grand. Une question se pose: quel est la dimension du champ la plus souhaitable pour les mesures astrométriques devant servir à dresser les catalogues? Seule l'expérience peut fournir la réponse à cette question. Nous estimons qu'il est plus pratique d'employer des instruments avec un champ de 25-40 degrés carrés.

En conclusion nous désirons formuler des déductions et propositions principales qui découlent de notre communication:

(1) Les méthodes classiques de définition du système des catalogues stellaires d'après les observations du Soleil et des grandes planètes ne correspondent pas aux exigences précises que l'on peut requérir des systèmes fondamentaux modernes. Il faut souligner l'importance des travaux avec les petites planètes pour déterminer le point zéro et contrôler les erreurs systématiques des catalogues fondamentaux. Il est souhaitable qu'un grand nombre d'observatoires prennent part aux observations des petites planètes.

(2) Les travaux pour l'utilisation des nébuleuses extra-galactiques à des fins astrométriques, dont l'importance extrême a été mentionnée dans les résolutions du VII^e Congrès de l'Union Astronomique Internationale à Zürich, continuent à se développer ces dernières années. La liste de 300 régions avec nébuleuses extra-galactiques, dressée en U.R.S.S., peut être recommandée aux observatoires des deux hémisphères.

L'un des problèmes essentiels de l'astrométrie moderne est la réduction à un système fondamental unique des différents catalogues des étoiles faibles—catalogues AGK₁, des résultats de leur réobservation photographique et des catalogues photographiques 'Carte du Ciel'. En ce sens les astronomes allemands ont accompli de sérieux progrès.

(4) La création d'un catalogue fondamental contenant pour tout le ciel près de 20,000 étoiles faibles est pour le moment la tâche urgente et importante de l'astrométrie. Ce catalogue assurera une base astrométrique stable pour les travaux de l'astrométrie photographique et de l'astronomie stellaire, en particulier pour les observations mentionnées ci-dessus des petites planètes et des nébuleuses extra-galactiques. La liste dressée en U.R.S.S. de 15,355 étoiles faibles du Pôle Nord jusqu'à la déclinaison -30° peut-être recommandée pour les observations méridiennes. Il importe surtout que les observatoires de l'hémisphère sud se joignent à ce travail, c'est pourquoi la liste doit s'étendre jusqu'au Pôle Sud.

(5) La solution des problèmes d'actualité de l'astrométrie concernant la précision des positions et des mouvements propres des étoiles est impossible sans un perfectionnement sérieux des instruments méridiens et une étude détaillée de ces derniers. L'application des méthodes d'enregistrement automatiques des observations en utilisant les découvertes modernes de la physique est d'une grande importance.

Nous nous sommes réunis ici pour discuter et examiner les problèmes de l'astrométrie des étoiles faibles. En ma qualité d'astrométriste, je me suis arrêté principalement sur les problèmes de l'astrométrie fondamentale et des observations méridiennes. Mes

es du Symposium mettront en lumière d'autres questions et, en particulier, celles astronomie stellaire, concernant les observations astrométriques des étoiles faibles. Le problème de l'astrométrie des étoiles faibles revêt une importance extrême. Il sera résolu au mieux et avec succès, si les observatoires des différents pays unissent leurs efforts dans cette œuvre. Nous sommes persuadés que l'organisation des grands travaux scientifiques pour la solution des problèmes scientifiques modernes est la meilleure voie, la plus sûre qui mène au progrès de la science, à la coopération pacifique et au rapprochement de tous les peuples.

LITERATURE

- V. Zimmernan: *Publ. Obs. Central (Pulkovo)*, **61**, 1948.
 R. Morgan: *A.J.* **54**, 1, 1948; 145, 1949.
 H. Oort: *Colloque intern. 'Constantes fond. de l'astr.', Paris*, 62, 1950.
 A. Orlov: *Circ. astron.* No. 128, 1952; *Bull. Obs. Central (Pulkovo)*, **19**, no. 150, 1952.
 G. Shaposhnikov: *A.J. U.S.S.R.* **16**, 62, 1939.
 R. Morgan: *Colloque intern. 'Constantes fond. de l'astr.', Paris*, 37, 1950.
 1. Conférence astronomique 1932: *Bull. Obs. (Pulkovo)*, 1933.
 F. Subbotin: *Circ. Obs. Central (Pulkovo)*, **13**, no. 3, 1932.
 I. Dneprovsky: *Bull. Obs. Central (Pulkovo)*, **13**, no. 112, 1932.
 V. Numerov: *Bull. Inst. Astr.* No. 32, 1933; *A.J. U.S.S.R.* **18**, 339, 584, 1935; *A.N.* **260**, 305, 1936.
 Brouwer: *A.J.* **44**, 57, 1935; *Ann. New York Acad. Sci.* **42**, Art. 2, p. 133, 1941.
 Jackson: *Trans. I.A.U.* **5**, 40, 1935.
 P. Gerasimovich et N. I. Dneprovsky: *Circ. Obs. Central (Pulkovo)*, **13**, no. 3, 1932. *J. U.S.S.R.* **16**, 100, 1933 (Chronique).
Ill. Comm. Intern. Perm. pour l'exec. de la Carte du Ciel 7, 1 (F. Küstner); 2 (J. Ph. Lagrula), 1915.
öffentl. Copernicus-Institut, No. 225, 1943.
 I. Beljavsky: *Publ. Obs. Central (Pulkovo)*, **60**, 1947.
op. Motions of Stars in the Cape Zone Cat. of 20843 Stars, -40° to -52°, 1936; Catalogue of 20554 Faint Stars in the Cape Astrogr. Zone, 1939.
 Larink: *A.N.* **273**, 21, 1942.
 Heckmann, W. Diekvoss und H. Kox: *Sitz. Deutsch. Akad. Wiss. Berlin*, No. 7, 1948.
 S. Zverev: *A.J. U.S.S.R.* **17**, 54, 1940.
J. U.S.S.R. **18**, 180, 1941.
 N. Neujmin: *Journal Scientifique, Université de l'État, Kasan*, **100**, pt. 4, 86, 1940.
 L. Matkevich: *Publ. Obs. Tachkent*, sér. 2, p. 2, 1952.
 D. Agafonova: *Bull. Obs. Astr. Engelhardt*, No. 26, 1948.
 S. Zverev, V. A. Izvekov, A. G. Osborneva et L. M. Khommik: *A.J. U.S.S.R.* **29**, 91, 1952.
 Robertson: *Astr. Pap.* x, p. 2, 1940.
 van Rhijn: *3rd Report of the Progress of the Plan of Selected Areas*, p. 62. Groningen, 1923.
 van Herk et G. Pels: *B.A.N.* **9**, nos. 324, 336, 343, 351; **10**, nos. 364, 372, 387, 409; 1940-50.
 Danjon: *Bull. Astr.* XIII, 1, 1947.
 S. Zverev: *A.J. U.S.S.R.* **23**, 165, 1946.
 Spencer Jones and R. T. Cullen: *M.N.* **104**, 146, 1944.
 K. Zimmernan: *Bull. Obs. Central*, **18**, no. 143, 1950; *Publ. Obs. Central (Pulkovo)*, **68**, 1951.
 Bonsdorff: *Res. abs. Decl. Bestimm. Pulk.* 1915. Helsinki, 1922.
 A. Sukharev: *Bull. Obs. Central (Pulkovo)*, **18**, no. 143, 1950.
 R. Morgan and F. P. Scott: *Publ. U.S. Naval Obs.* **15**, p. 5, 1948.
 Bonsdorff: *Bull. Obs. Central (Pulkovo)*, **6**, no. 66, 1915.

- (38) N. N. Pavlov: *Circ. Obs. Central (Pulkovo)*, No. 24, 1938; Nos. 26–7, 1939; *Publ. Obs. Central (Pulkovo)*, **59**, 1946.
- (39) V. E. Brandt: *Publ. Inst. Central géodésie, cartographie aérienne et cartographie*, fasc. 87, 1952.
- (40) A. Reiz: *Lund Medd.* No. 174, 1950.
- (41) W. S. McClenahan, E. G. Woolsey and R. W. Tanner: *Journ. R.A.S. Canada*, **45**, 199, 1951.
- (42) C. B. Watts: *Publ. U.S. Naval Obs.* **16**, 2, 1950.
- (43) K. F. Ogorodnikov: *Problèmes de cosmogonie*, **1**, 1952.

Remarks by Prof. Brouwer:

The Yale minor planet programme was begun in 1935, stimulated by the work of Prof. Numerov in previous years. Observations were concluded early in 1948. It was decided not to include in the discussion any observation after a date early in 1948. All of the plates (about 6000) have been measured. The reductions are now in progress.

We are concentrating at the present time on the reduction of the observations of minor planets (1), (2), (3), (4), and intend to make a complete discussion of these observations before proceeding with the discussion of the observations of the remaining twelve planets on the programme.

I should further like to remark on the importance of meridian circle observations of the bright minor planets. As is well known, *relative* photographic observations do not yield a determination of the equator among the stars, but the ecliptic can be determined. Fundamental meridian circle observations are required in order to determine the equator. Accurate orbits of the first four minor planets, obtained by numerical integration and published in the *Astr. Papers of the American Ephemeris* are now available, and accurate ephemerides based on these orbits are published annually.

It is encouraging to note that these minor planets are now being intensively observed with several meridian circles.

2. BILDUNG EINES FUNDAMENTALKATALOGS SCHWACHER STERNE (FK)_s (FAINT FUNDAMENTALS)

By AUGUST KOPFF (Heidelberg)

I. Erste Frage: Was bedeutet ein (FK)_s und welchen Zweck hat dieser?

(1) Die Domäne der schwachen Sterne ist die Photographie. Trotzdem ist es auch in Zukunft notwendig, direkte Beobachtungen von Sternen bis etwa 9.5 Gr visuell (besonders am Meridiankreis) zu beobachten. Hierzu bedarf es eines FK, der auch Sterne bis zu dieser Helligkeit enthält. Ein (FK)_s ist in die Gesamtheit eines FK einzubauen.

Unter einem Fundamentalsystem oder Fundamentalkatalog im strengen Sinn sei die Gesamtheit von Örtern, Eigenbewegungen und der Präzessionskonstanten zu verstehen. Das System beruht auf absoluten (oder fundamentalen) Positionen beider Koordinaten; die Eigenbewegungen sind durch strenge Ausgleichung der Positionen über den ganzen Zeitraum der Beobachtungen hinweg zu erhalten. Es genügt nicht, etwa aus den Mittelwerten von zwei Gruppen von Positionen für verschiedene Zeiten die Eigenbewegung zu ermitteln (vergl. Abschnitt 11).

Darauf hingewiesen sei hier noch, dass eine systematische enge Verbindung eines Beobachtungskatalogs mit einem FK-System nur durch Beobachtung von Reihen innerhalb des Programms zu erreichen ist (siehe Küstner und AGK 2A).

(2) Ein (FK)_s ist notwendig, um die Beobachtungskataloge der Vergangenheit ebenso wie der Zukunft mit einem FK-System zu vergleichen. Hierbei wird man die schwachen Sterne nicht getrennt, sondern in Verbindung mit allen Sternen diskutieren müssen.