

# Pour une histoire de la Galaxie

(5)

Dans les quatre premières parties de ce feuilleton, j'ai prétendu traiter de l'histoire de la Galaxie mais il n'y a jamais été question que de la Voie Lactée : son exploration, des essais de dénombrement de ses étoiles et plus généralement de ses richesses. Le concept de galaxie restait à naître et ce sera le sujet de cette cinquième partie : comment un fameux GRAND DEBAT, le 26 avril 1920, marqua la difficile parturition du concept qui se résume dans la formule la Galaxie dans le royaume des galaxies.

## ETAT DES LIEUX

Pour bien comprendre la signification et la portée du grand débat, il me paraît utile de dresser un tableau rapide mais si possible complet de l'état des lieux, c'est à dire ce que la communauté des astronomes, à ce moment, pense sur les sujets suivants : dénombrements d'étoiles, mouvements stellaires, classification spectrale des étoiles, classification des nébuleuses, mesure des distances. Sur chacun de ces sujets, un grand nombre d'astronomes surtout européens et américains mais aux orientations et aux spécialités très diverses ont accumulé des données qui vont être à la base des échanges du grand débat et par suite à la base de la nouvelle architecture de l'Univers qui va en résulter.

**Les dénombrements d'étoiles** prolongent et perfectionnent les données de Herschel. Le méticuleux catalogue dressé par Argelander donne les positions de 324 000 étoiles de magnitude inférieure à 9.5 (Bonner Durchmusterung, 1852-59). Il est étendu à l'hémisphère sud par un astronome argentin, Juan Thomé. Dans ce domaine, Pickering perfectionne les mesures photométriques et Jacobus C. Kapteyn (1851-1922) - qui va jouer un rôle important dans notre feuilleton - intervient déjà ici en exploitant de façon méthodique et précise les ressources de la photographie. Pour donner une idée des dénombrements de Kapteyn, citons ce résultat : densité d'étoiles à peu près constante autour du Soleil jusqu'à la distance de 100 parsecs (1 parsec = 1 pc = 3.26 années de lumière) ; cette densité décroît de façon continue et rapide dans la direction des pôles galactiques, lentement dans le plan de la Voie Lactée. Cela reste très schématique mais cela suffit pourtant à la définition d'un repérage spécifique à la Voie Lactée, les longitudes et latitudes galactiques (on repère les longitudes dans le sens direct à partir de l'intersection du plan moyen de la Voie Lactée avec l'équateur céleste dans la constellation de l'Aigle, les latitudes à partir du plan moyen de la Galaxie, en notant latitude galactique Nord celles qui sont du même côté du plan galactique que le pôle céleste Nord). Dans ces conditions, la région la plus brillante de la Voie Lactée, dans le Sagittaire a une longitude galactique de 330° avec deux autres maxima relatifs dans le Cygne (40°) et le Navire (260°) alors que dans Persée, la Voie Lactée est une lueur à peine visible.

Insistons, en passant, sur le rôle de la photographie dans les découvertes de l'époque. On fut tout de suite attiré, les astronomes aussi bien que le public, par les belles images de quelques très beaux objets, la photo de Messier 13 obtenue par Ritchey au télescope du Mont Wilson. Un véritable engouement pour les belles images célestes, surtout les images de galaxies, j'en garde le souvenir dans les années 1935, alors que Jean Giono publiait des commentaires enthousiastes en face des photos réalisées près de Forcalquier là où allait s'installer le futur Observatoire de Haute Provence (St Michel).

**Les Mouvements stellaires** ont été une constante préoccupation de Kapteyn dont on a vu, à propos des dénombrements, comment il devient familier des techniques statistiques. En précisant la direction de l'apex et la vitesse avec laquelle le Soleil se déplace dans cette direction (soit environ 20 km.s<sup>-1</sup>), Kapteyn en déduit qu'en un siècle le déplacement parallactique d'une étoile sera 420 fois plus grand que son déplacement parallactique annuel (faites le calcul pour vérifier). Il comprend quel parti on pourra en tirer pour améliorer les

mesures de distances stellaires. Mais, de plus, il découvre des mouvements d'ensemble dans la Voie Lactée, ouvrant la voie aux futurs travaux de Oort.

**La classification spectrale des étoiles** a été l'oeuvre de l'Observatoire de Harvard. Le catalogue de Henry Draper, publié en 1897, révisé en 1918 et 1924, comprend 265 000 étoiles réparties, selon la classification de Annie J. Cannon, en dix types notés O B A F G K M R N S et caractérisés par des températures de surface décroissantes. Quand une autre astronome, Antonia C. Maury, - on a depuis longtemps noté combien ce domaine fondamental de l'astrophysique doit au travail patient et précis de plusieurs dames - perfectionne la classification selon la largeur des raies spectrales, la voie est ouverte à la construction du fameux diagramme HR (pour Hertzsprung et Russell).

**La classification des nébuleuses**, commencée par William Herschel, poursuivie par son fils John, est complétée par J.L.E. Dreyer qui publie en 1888 le **New General Catalogue** (NGC) de treize mille objets. On y distingue une majorité de "nébuleuses" en conservant ce mot dont la signification sera peu à peu précisée (qui s'étonnera que le mot nébuleuse n'ait pas eu tout de suite un sens précis ?), une centaine d'amas globulaires et des amas ouverts.

Les nébuleuses de première catégorie, qui sont les plus nombreuses dans le catalogue, donnent un spectre continu, ne paraissent pas résolubles en étoiles, sont souvent d'aspect spiralé et sont particulièrement nombreuses en dehors du plan de la Voie Lactée, en particulier dans Coma. Les amas globulaires sont résolubles en étoiles ; leur aspect est régulier et fait penser à la symétrie sphérique (voir la photo de M 13 déjà citée) ; curieusement ils sont situés dans une moitié du ciel, du côté du Sagittaire, là où la concentration d'étoiles de la Voie Lactée est la plus importante. Enfin, les amas ouverts, du type des Pléiades, sont des groupements d'étoiles de formes irrégulières ; ils paraissent plus proches que les spirales. Quant aux Nuages de Magellan, à l'époque, ils paraissent n'être rien d'autre que des morceaux de la Voie Lactée.

On comprend qu'à ce stade du développement des connaissances, le mot "nébuleuse" commence seulement à prendre un sens plus précis. Kapteyn en premier, puis Trumpler à l'Observatoire Lick, sont amenés à soupçonner une certaine absorption de la lumière dans la Voie Lactée. Opinion renforcée par la découverte des nuages sombres dont Barnard publie en 1919 un catalogue de 352 nébuleuses sombres - dont le fameux "sac à charbon" dans la constellation de la Croix du Sud. Après les avoir interprétés comme des régions vides d'étoiles, on pense aussi à des masses de gaz et de poussières.

**La mesure des distances** va jouer un rôle essentiel dans le déroulement et le dénouement du grand débat. Je crois utile, pour la compréhension de la suite, d'en résumer très schématiquement, le principe. A la base, la mesure de la parallaxe annuelle d'une étoile est la méthode géométrique la plus fiable fondée sur le mouvement orbital de la Terre donc la connaissance précise de la distance moyenne du Soleil à la Terre, l'**unité astronomique** soit  $A = 1,495\,978\,70 \cdot 10^{11}$  m (ce qui donne pour le "temps de lumière pour l'unité de distance"  $\tau_A = 499,004\,782$  s). Ainsi Bessel a-t-il mesuré en 1838 la parallaxe de 61 Cygni, soit 0.348" ce qui situe l'étoile de 2.87 parsecs ou 9.4 années de lumière. La méthode est fiable à 10% pour 700 étoiles de parallaxes supérieures à 0.05 " donc situées à moins de 20 pc du Soleil. Pour aller plus loin, on a vu que la connaissance du mouvement du Soleil rend possible de définir la parallaxe séculaire environ 400 fois plus grande que la parallaxe annuelle. La méthode, malgré ses difficultés propres, est utilisée pour calibrer des luminosités d'étoiles en fonction de leurs distances (si ce résumé schématique ne vous satisfait pas, cela me paraîtra normal et je vous engagerai à relire le chapitre "distances" dans **Méthodes de l'Astrophysique** par Lucienne Gouguenheim). Pratiquement, toutes ces méthodes plus ou moins directement géométriques ne peuvent dépasser la portée de 1000 pc = 1 kpc.

Pour aller encore plus loin, on a recours aux critères photométriques ou spectrographiques. Insistons sur cette dernière méthode : le spectre de l'étoile permet de situer le point qui la représente sur le diagramme HR ce qui nous donne sa magnitude absolue

M ; l'observation donne la magnitude apparente m qui est liée à la magnitude absolue par la formule

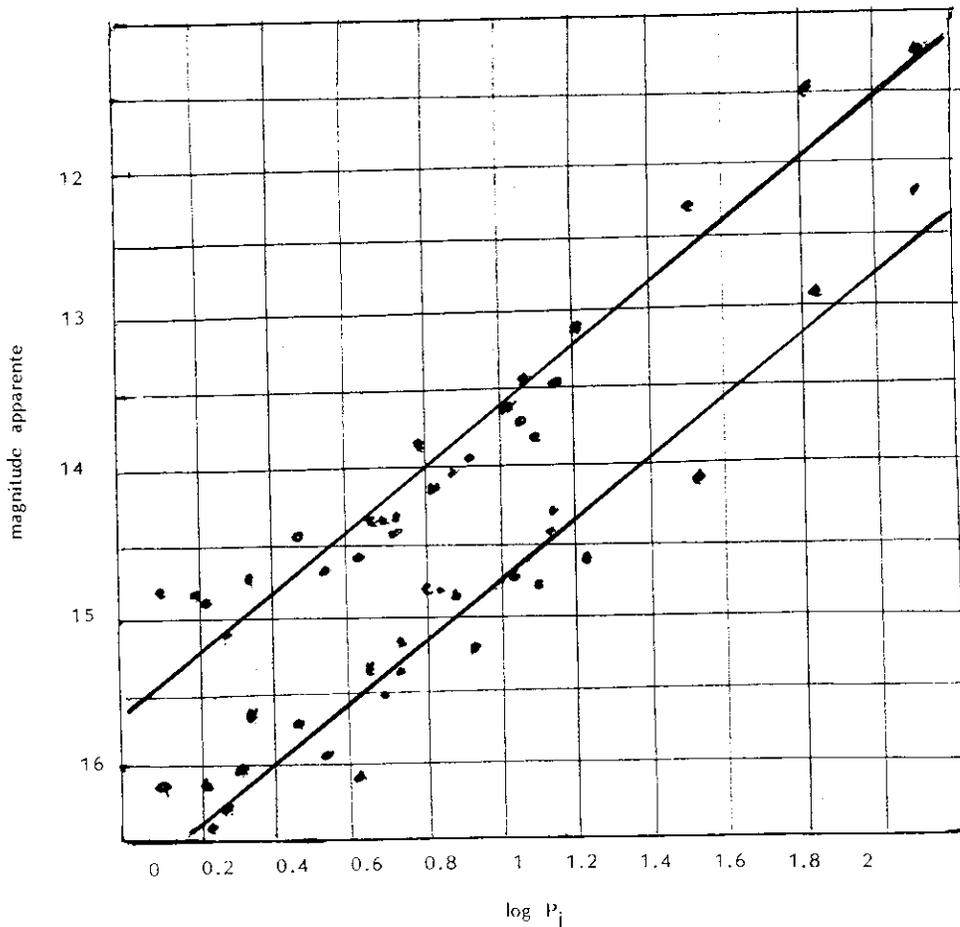
$$m - M = 5 \log d - 5$$

le logarithme étant décimal et la distance d de l'étoile étant exprimée en parsecs. La mesure de m est une mesure photométrique, la détermination de M résulte d'une bonne lecture du diagramme HR donc d'une observation du spectre de l'étoile. La formule donne la distance d ce qui suppose que la formule a été testée pour des étoiles assez proches pour que leur distance ait pu être mesurée selon les critères géométriques et dynamiques rappelés plus haut.

Tel est donc, schématiquement, l'état des lieux, c'est à dire des connaissances aux environs de 1910. Une période s'ouvre qui va empêcher maints Européens - pour cause de massacre collectif - de participer utilement à de nouvelles recherches. Heureusement, le relais est pris en Amérique.

### UNE NOUVELLE CLEF DES DISTANCES

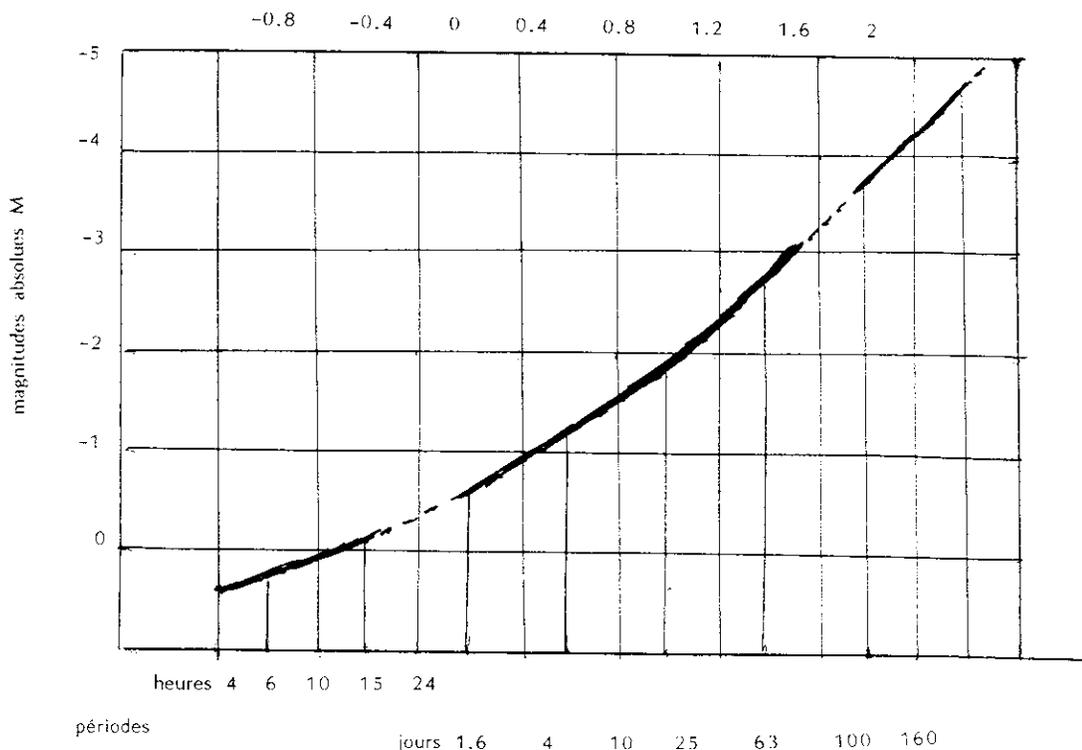
En 1912, Miss Henrietta Leavitt, qui travaillait avec Pickering, détecte un millier de Céphéides dans le Petit Nuage de Magellan (PNM). On sait qu'une céphéide est une étoile variable dont la variation d'éclat est remarquablement périodique. Miss Leavitt eut l'idée de



Le diagramme de Miss Leavitt pour 25 céphéides du Petit Nuage de Magellan (d'après l'article de L.Bottinelli dans *Astronomie Flammarion*, p.986)

représenter le résultat de ses observations dans un diagramme : en abscisse le logarithme de la période P<sub>j</sub> et en ordonnée la magnitude apparente au maximum d'éclat (première série de

mesures) puis au minimum d'éclat (deuxième série de mesures). A sa grande surprise, les points représentatifs s'alignaient pour chaque série de mesures. Il y a donc une relation entre période et magnitude apparente maximale. Toutes les étoiles du PNM pouvant être considérée comme à la même distance du Soleil ou de la Terre, la relation découverte est une relation entre période et magnitude absolue maximale de la céphéide. Ce que traduit le deuxième graphique tel qu'il était donné par Paul Couderc dans *L'expansion de l'Univers* d'après un graphique de Shapley publié en 1948 : en abscisse la période, en heures ou en jours, ou en haut selon une échelle logarithmique : en ordonnée, la magnitude absolue  $M$ .



Autrement dit, en mesurant la période d'une céphéide on détermine sa magnitude absolue maximale, et comme on peut en même temps mesurer sa magnitude relative on en déduit son module de distance, la différence  $m - M$ , qui donne  $d$  par la formule rappelée plus haut. "Une céphéide est une montre qui sert de mètre" (dixit Paul Couderc).

Shapley comprit très vite que la clef du monde sidéral était trouvée, pour reprendre encore une expression de Paul Couderc. Disons presque trouvée car le diagramme de Miss Leavitt devra être corrigé (Baade, en 1950, distingue deux populations d'étoiles, I et II, ce qui compliquera un peu le diagramme précédent. Et puis le grand problème demeure sur la nature de la Voie Lactée : tout ou seulement une partie de l'Univers ?

### LA CONFRONTATION DE 1920

Depuis nombre d'années, on en discute parmi les astronomes sans que puisse apparaître l'amorce d'un accord général. Des thèses s'affrontent. L'Académie Nationale des Sciences américaine organise le 26 avril 1920 une séance qui permettra à Curtis et à Shapley de confronter les thèses en présence.

**Heber D. Curtis** reprend l'idée déjà présentée par Kapteyn qui attribuait à la Voie Lactée un diamètre de 10 kpc pour une épaisseur de 2 kpc, le Soleil étant proche du centre et qui voyait la Voie Lactée comme un exemplaire entre beaucoup d'autres univers-îles. Curtis voit une confirmation de cette thèse en évaluant à au moins 150 kpc, voire 1 Mpc les distances de certaines spirales extérieures à la Voie Lactée, pour lui c'est une évidence. Il s'appuie aussi

sur l'éclat des novae observées dans les spirales comparé avec celui des novae de la Voie Lactée.

**Harlow Shapley** a entrepris, depuis 1914, une étude systématique des amas globulaires. Il note que leur distribution en latitude galactique est symétrique - il y a autant d'amas globulaires d'un côté du plan moyen de la Voie Lactée que de l'autre - alors qu'au contraire il y a une forte concentration d'amas globulaires en longitude galactique dans la direction du Sagittaire (longitude  $330^\circ$ ). Et les distances de ces amas sont très grandes ; il donne 30 kpc pour M.13. Il en déduit que la Voie Lactée est beaucoup plus grande que ne la voie Curtis, il propose 100 kpc pour son diamètre, les amas globulaires étant répartis autour selon une symétrie sphérique, le Soleil étant loin du centre pour expliquer cette distribution apparente des amas globulaires. Mais, pour lui Shapley, la Voie Lactée est tout l'Univers. **Adrian van Maanen** rejoint Shapley dans son refus des univers-îles car il croit avoir décelé des mouvements de rotation dans les spirales qui ne pourraient donc pas être à l'extérieur de la Voie Lactée.

Telles auraient donc été les thèses en présence lors du GRAND DEBAT, si débat il y avait vraiment eu. En fait ce fut seulement une confrontation, Curtis et Shapley restant chacun sur leurs positions. Chacun avait de bonnes raisons de s'y tenir et des raisons qu'il trouvait aussi bonnes de ne pas accepter les thèses adverses. A la lumière de ce que nous savons aujourd'hui, chaque thèse avait ses mérites et ses faiblesses. Les conclusions de van Maanen qui paraissaient venir en renfort à la thèse Shapley résultaient de mesures effectuées à la limite des possibilités observationnelles ; elles furent bientôt infirmées tant par les observations de Slipher que par les objections théoriques de Jeans et les mesures de Lundmark.

D'autre part, Oort et Lindblad découvrent la rotation d'ensemble de la Voie Lactée : ils ont repris et complété les données recueillies par Kapteyn pour trouver cette rotation d'ensemble dans laquelle la Voie Lactée se décompose en sous-systèmes tournant à des vitesses angulaires différentes.

La suite de l'histoire va montrer que Curtis avait raison de situer les spirales en dehors de la Voie Lactée, et que Shapley avait donc tort de limiter l'Univers à cette seule Voie Lactée, même entourée d'une banlieue peuplée d'amas globulaires. Par contre, Shapley avait raison de concevoir la Voie Lactée comme un ensemble aplati de très grand diamètre, le Soleil étant loin du centre de cet Univers et Curtis avait donc tort d'imaginer aussi petit le diamètre de notre univers-île. On conçoit que dans ces conditions le GRAND DEBAT soit resté sans véritable conclusion, les divergences résultaient des incertitudes dans les mesures de distances.

### LE TEST HUBBLE

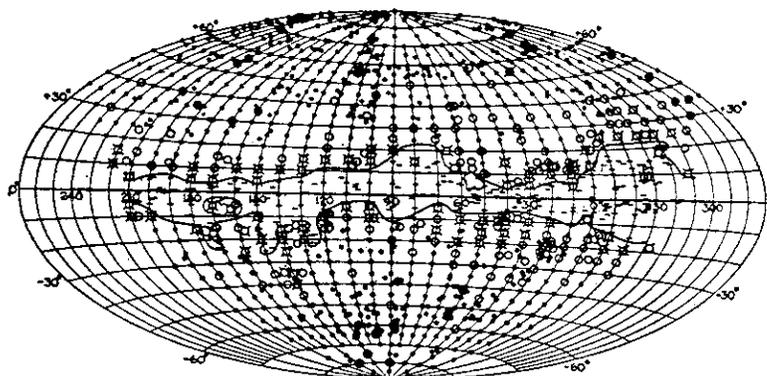
En 1924, Edwin Hubble utilise le 100 inch-télescope du Mont Wilson, le plus puissant instrument de l'époque. Il découvre des céphéides dans les bras de la spirale d'Andromède (M.31). Le diagramme de Miss Leavitt montre que cette spirale est à plus de 230 kpc donc certainement extérieure à la Voie Lactée.

Test décisif. D'autant que la spirale d'Andromède apparaît comme une soeur de notre Voie Lactée. Plus n'est besoin d'un grand débat ou d'une confrontation qui n'a plus d'objet, la conclusion s'impose : la Voie Lactée comme la spirale d'Andromède sont des spécimens de **galaxies** et la Voie Lactée, dans cette conception, va devoir changer de nom, être appelée **la Galaxie** avec majuscule. On peut dire qu'à partir de 1924, la nouvelle structure de l'Univers apparaît clairement, l'Univers pourra être considéré comme un fluide dont les molécules constituantes sont les galaxies. Une nouvelle branche de l'astronomie est née, celle des objets extragalactiques. En 1928, Hubble et Humason publieront leur mémoire sur l'expansion...

### En guise de conclusion

K.Mizar demande à ses lecteurs encore quelques minutes de patience. Il sait qu'il abuse, il leur en a demandé déjà beaucoup, de la patience. Mais pour terminer ces notes "pour une histoire de la Galaxie, il ne peut s'empêcher de rappeler quelques souvenirs personnels. En 1954 paraissait *L'Astronomie au jour le jour* ; c'était un recueil de trente-sept causeries radiophoniques par Paul Couderc, Jean-Claude Pecker et Evry Schatzman (éd Gauthier-Villars) qui contenait aussi 22 photographies hors-texte. La dernière de ces photos représentait Edwin Hubble réglant le grand télescope Schmidt du Mont Palomar. Photo qui, à l'époque me fit beaucoup rêver. J'échafaudais un projet ; j'en parlais à Paul Couderc qui m'encouragea à le réaliser. Il s'agissait de réunir des documents depuis les premiers dessins de Galilée sur les Pléiades, puis ceux de Messier, ceux de Herschel et jusqu'à la naissance de la Galaxie. Encore faudrait-il trouver un éditeur et à l'époque le CLEA n'existait pas. Le projet resta projet dans la petite tête de K.Mizar.

Alors, aujourd'hui, pour clore ce feuilleton, faute de pouvoir reprendre la photo de Hubble, je reproduis un dessin de son livre *The realm of nebulae* qui avait été édité en 1936 alors que dans ma bibliothèque je n'ai que la réédition Dover qui date de 1958 :



**FIG. 3. Apparent Distribution of Nebulae, Showing Effects of Galactic Obscuration.**

Positions of samples are plotted in galactic coördinates. The horizontal line,  $0^{\circ}-0^{\circ}$ , represents the central plane of the Milky Way. The north galactic pole is at the top. Small dots indicate normal numbers of nebulae per sample; large disks and circles, excesses and deficiencies, respectively; dashes, samples in which no nebulae were found.

The zone of avoidance along the Milky Way (regions where dashes predominate) is bordered by partial obscuration (fringes of open circles), beyond which the distribution is approximately uniform.

The blank spaces at the extreme right and left of the diagram represent the southern skies which cannot be observed from the station at which the survey was made.

L'histoire de la Galaxie n'est évidemment pas achevée, mais elle va se poursuivre dans un autre "climat" : étudier la Galaxie, c'est étudier "de près", "de dedans" une galaxie comme une autre. Est-elle typique ? Est-elle particulière ? Elle a certes cette particularité de contenir notre brave petit système solaire (avec nous dedans). De plus nous avons acquis cette certitude, ni nous ni la Galaxie ne sommes le centre du monde.

K.Mizar

P.-S. - Parmi mes histoires de l'astronomie, j'ai surtout utilisé celle de A.Pannekoek mais pour ce cinquième épisode, je dois beaucoup à l'étude de Denis Priou et Florence Durret publiée dans *L'Astronomie* revue de la SAF (mars et avril 1993).