

La découverte de l'extinction interstellaire



Festival de Fleurance
Août 2009
Frédéric Chaberlot

Pour les astronomes des années 1900, cette image est problématique.

La forme à tête de cheval représente-t-elle une masse sombre de matière absorbante ?

Ou représente-t-elle un trou, un tunnel qui permet de voir à travers le champ galactique ?

A l'époque, il était très difficile de trancher.



Pour les astronomes actuels, qui peuvent prendre des images en infra-rouge, il ne fait aucun doute qu'il s'agit d'une masse de matière qui absorbe la lumière des étoiles situées derrière.

Ces étoiles apparaissent d'ailleurs rougies, justement par l'effet de l'extinction interstellaire.



Ce genre de raisonnement n'est systématisé qu'à partir de 1930.

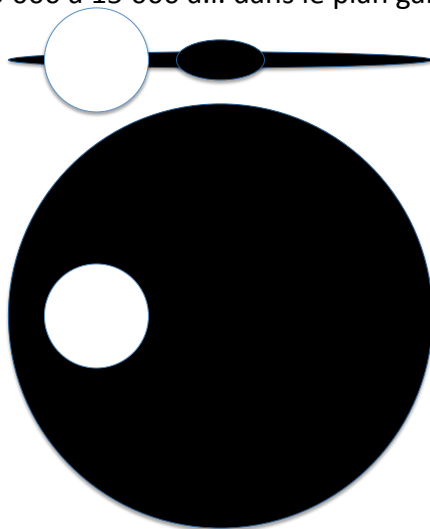
La matière interstellaire



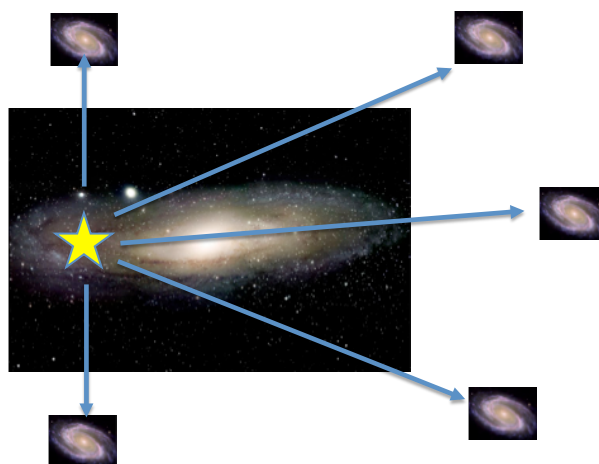
- Gaz et poussière.
- Très ténu partout dans les plans galactiques.
- Un peu moins ténu dans les agglomérations = nébuleuses intra-galactiques.
- Les effets d'extinction de la lumière ne sont pas dus à la densité de cette matière (qui est ténu) mais aux distances considérables que la lumière doit traverser.

Les effets de la matière interstellaire

N°1: l'impossibilité de voir, dans le domaine visible, plus loin qu'environ 10'000 à 15'000 a.l. dans le plan galactique.



N°1 bis: l'impossibilité de voir, dans le domaine visible, au-delà du plan galactique = zone d'absence



N°2: l'extinction progressive de la lumière des étoiles

Dans le domaine visible, les astronomes emploient des coefficients d'absorption de l'ordre d'une magnitude pour 1000 parsecs (≈ 3600 a.l.):

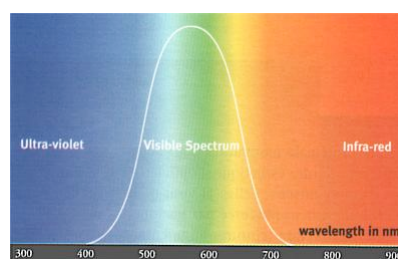
$$A \approx 1 \text{ magn./kpc}$$

Exemple: une étoile de $m = 10$ (invisible à l'œil nu) et située à une distance de 4000 parsecs (≈ 14400 a.l.) aurait, s'il n'y avait pas d'absorption interstellaire, une $m = 10 - 1 \cdot 4 = 6$ (visible à l'œil nu !).

N°3: le rougissement interstellaire

La lumière des étoiles n'est pas seulement atténuée par l'extinction interstellaire, elle est aussi « rougie ».

Exemple: une étoile comme le Soleil émet surtout dans le vert. Mais puisqu'elle émet aussi dans les autres couleurs, notamment dans le rouge et dans le bleu, en quantité suffisante, la lumière du Soleil apparaît essentiellement blanche.



Pourtant, une étoile comme le Soleil située à grande distance dans le plan galactique nous apparaîtra rougie, à cause des effets d'absorption et de diffusion de la matière interstellaire qui « coupent » le bleu.

Conséquences des effets de l'extinction interstellaire

- Il est impossible de sonder la galaxie dans le domaine visible.
- La densité d'étoiles semblent décroître avec la distance.
- Le système d'étoiles semble héliocentrique.
- Les étoiles semblent plus rouges et plus lointaines.

Conséquences pour la construction d'une cosmologie

- Il est illusoire d'espérer mettre en évidence la structure d'ensemble de la Galaxie en la sondant dans le domaine visible tout en négligeant l'extinction interstellaire.
- Le modèle galactique ainsi obtenu ne peut être que tronqué, partiel et bizarrement héliocentrique.
- Pourtant, jusqu'en 1930, malgré plusieurs recherches visant à la mettre en évidence, l'extinction interstellaire est négligée.

Les trois voies d'approche pour mettre en évidence l'extinction interstellaire (jusqu'en 1930)

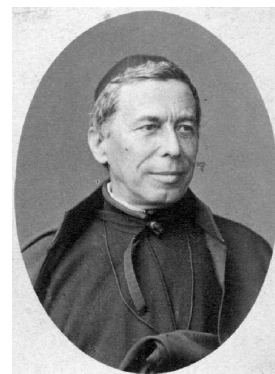
- Spectroscopie (Secchi, puis de Hartmann à O. Struve)
- Photographie (Barnard et M. Wolf)
- Photométrie (F. Struve puis surtout Kapteyn et Shapley)

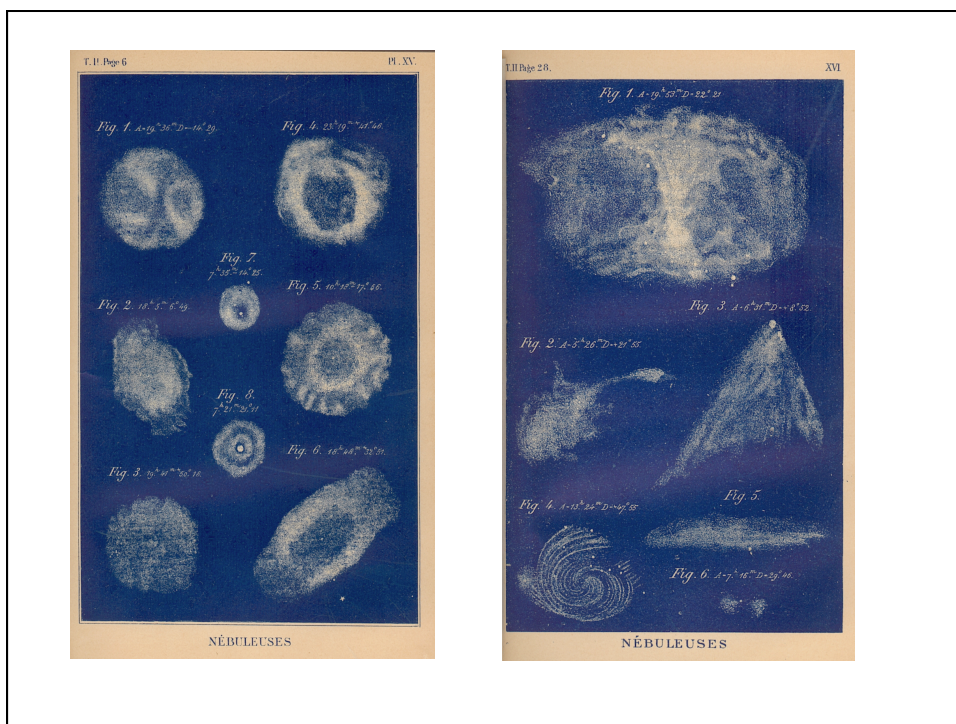
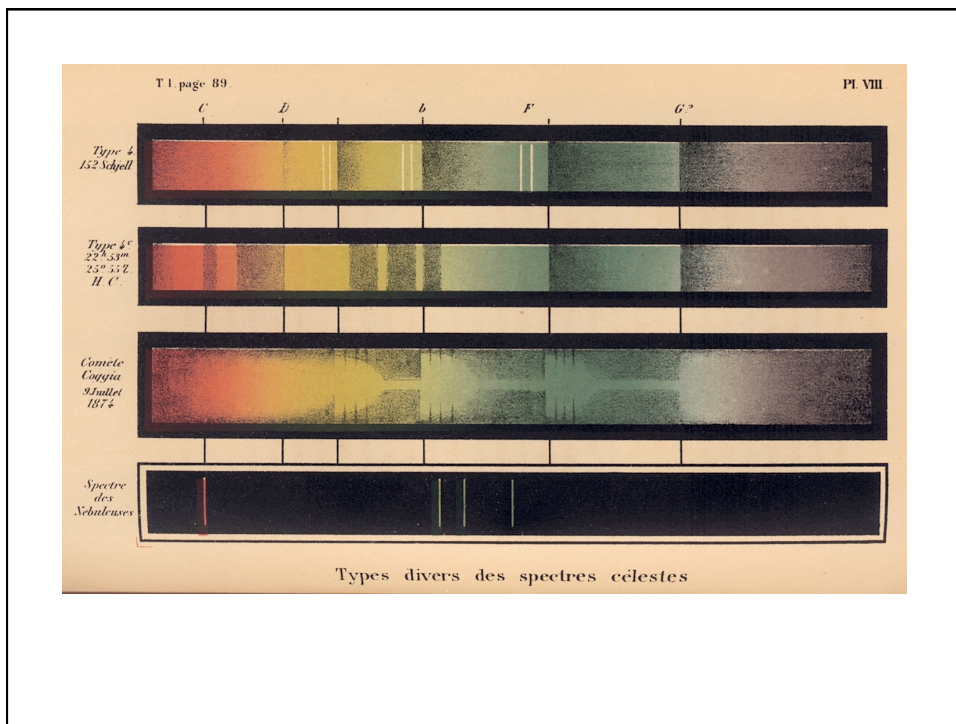
En 1930: la technique de Trumpler

Padre Angelo Secchi
(1818 - 1878)

« [...] comme, dans beaucoup de régions brillantes de la Voie lactée analysées au spectroscope nous avons rencontré des traces de lignes brillantes, il pourrait s'y trouver encore de vastes masses gazeuses agglomérées »

Les Etoiles, 1878-1879





De 1904 à 1928

J. Hartmann, V. Slipher, R. Young, J. Plaskett, J. Pearce,
A. Eddington, O. Struve

Détection de gaz autour de certaines étoiles.

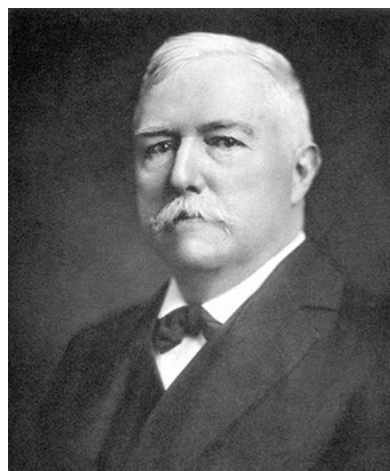
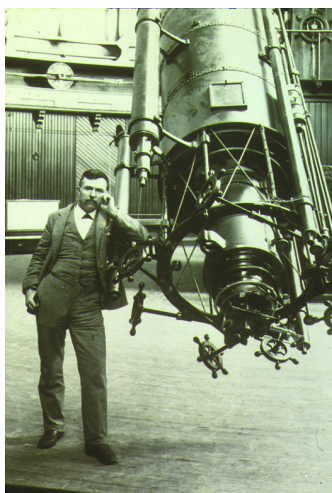
Tous ces travaux, de Secchi à O. Struve ne convainquent pas l'ensemble des astronomes.

Existe-t-il une matière interstellaire ?

Si oui, ces effets d'extinction sont-ils observables ?

Si oui, ces effets sont-ils à l'œuvre dans tout le disque galactique ou seulement dans certaines régions ?

Edward Emerson Barnard (1857 - 1923)



Barnard: « Petit nuage d'étoiles et trous noirs dans le Sagittaire »

(Photographs of the Milky Way and Comets, *Publ. Lick Obs.* 11, 1913)

A. Clerke:

« la masse brillante
près du centre est
percée d'un tunnel
par des trous noirs »

(*A Popular History of
Astronomie*, 1908)

Barnard:

« objets sombres réels »

(*A photographic atlas of
selected regions of the
Milky way*, 1927)

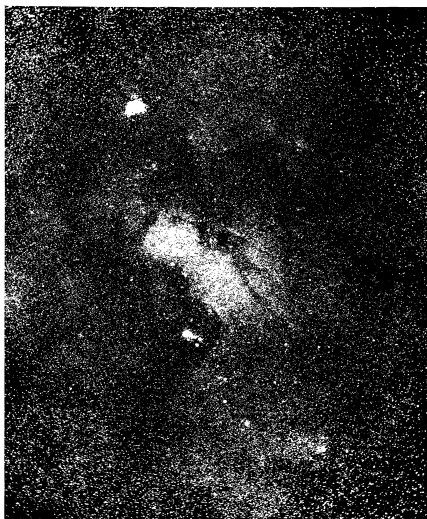


Photo. du 24 juillet 1895

**Photographies des régions
situées autour des étoiles
v Scorpii et ρ Ophiuchi**

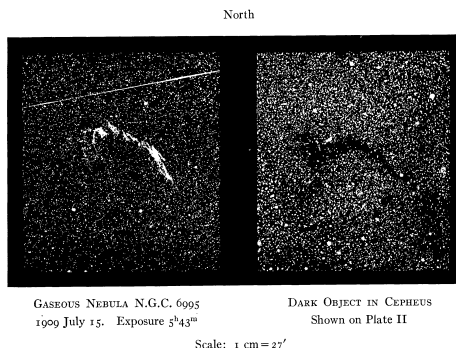
(On a great nebulous region
and on the question of absor-
bing matter in space and the
transparency of the nebulae,
ApJ 31, 1910)



« Ces objets sont d'un grand intérêt pour la preuve qu'ils donnent de l'obscurcissement de la lumière dans l'espace. On peut voir qu'à l'intérieur des limites des nébuleuses se produit une diminution abrupte de la lumière des étoiles, la ligne de démarcation étant les contours des nébuleuses. »

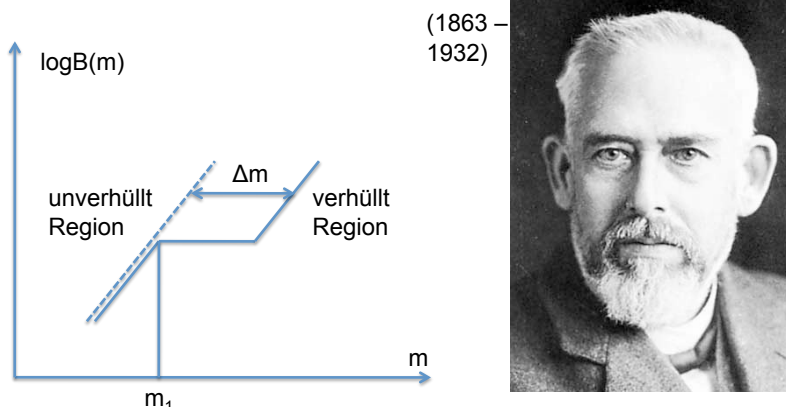
D'après *Photographs of the Milky Way and Comets, Publ. Lick Obs.* 11, 1913

Some of the dark markings on the
Sky and what they suggest,
ApJ 43, 1916



« Il y a une ressemblance frappante dans les formes des deux objets; mais l'un est une nébuleuse lumineuse et l'autre « quelque chose » de sombre. On peut facilement voir que, si la nébuleuse perdait sa lumière et si elle était suffisamment dense, nous la verrions encore contre le ciel et elle ressemblerait fortement à l'objet sombre. A cause de cela et pour bien d'autres raisons, je suis contraint de croire que l'objet sombre est vraiment une nébuleuse non lumineuse observée contre un arrière-plan lumineux. »

Les diagrammes de Max Wolf



« Cela démontre très fortement que l'on a affaire à un phénomène d'extinction dû à une masse placée devant le fond stellaire. »

Über den dunklen Nebel NGC 6960, *Astronomische Nachrichten* 219, 1923

Les *Etudes d'Astronomie Stellaire* de F. G. W. Struve

(1793 – 1864)

Struve compare la portée théorique
des télescopes de William Herschel
avec leur portée pratique.



Conclusion: la première est réduite
au tiers !

Pourquoi ? Parce qu'une extinction de la lumière des étoiles
donne l'illusion de la décroissance de la densité d'étoiles en
fonction de leur distance. (1847)

Le rougissement interstellaire

Indice de couleur =
magnitude apparente photographique (\approx bleue)

–

magnitude apparente visuelle (\approx jaune - verte)

Si rougissement interstellaire, $IC > 0$

L'intuition de William Herschel

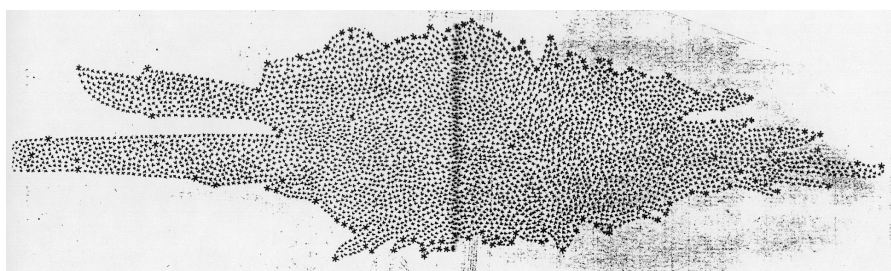
« On doit peut-être aussi faire une hypothèse sur la perte que subit la lumière des étoiles très éloignées par son passage à travers d'immenses étendues spatiales, dont la plupart ne sont probablement pas dépourvues de quelque milieu très subtil. Cette conjecture nous est suggérée par la couleur des très petites étoiles télescopiques, que j'ai trouvée généralement rouge, ou inclinant vers le rouge; ce qui semble indiquer que les rayons les plus faibles et les plus réfrangibles des autres couleurs sont soit stoppés en cours de route, soit déviés de leur course par des déflexions accidentelles. »

Note de bas de page dans « On the parallax of the fixed stars », *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* (1782)



(1738 – 1822)

Le modèle galactique d'Herschel



« On the construction of the Heavens », *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, 1785

La perplexité de J. C. Kapteyn

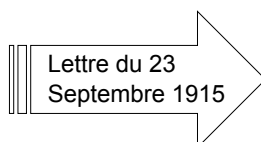
- De 1904 à 1914, Kapteyn met en évidence une extinction interstellaire en constatant:
- Un rougissement interstellaire pour les étoiles lointaines (comme W. Herschel),
- La décroissance de la densité d'étoiles avec la distance (comme F. Struve),
- L'apparente héliocentricité du système d'étoiles (comme W. Herschel et F. Struve).

« Une des conséquences sensationnelles [du fait que la densité d'étoiles décroît avec la distance au Soleil] est que nous devons admettre que notre système solaire doit être au centre de l'Univers, ou en tout cas près d'un centre local.

Il y a vingt ans ceci m'aurait rendu très sceptique [...]. Maintenant ceci n'est plus le cas – Seeliger, Schwarzschild, Eddington et moi-même avons trouvé que le nombre d'étoiles est plus grand au voisinage du Soleil. Ce résultat m'a souvent mis mal à l'aise parce que, dans sa dérivation, la question de la diffusion de la lumière dans l'espace a été négligée. Il apparaît maintenant de plus en plus que la diffusion doit être trop petite et sa nature quelque peu différente de celle qui pourrait expliquer la variation de densité apparente. Par conséquent, cette dernière variation est presque sûrement réelle. »



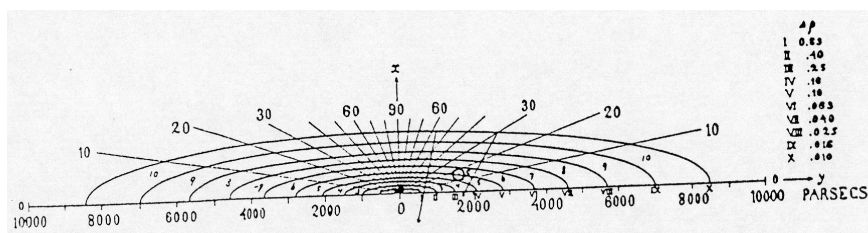
J. C. Kapteyn
(1851 - 1922)



G. E. Hale
(1868 - 1938)



Le modèle galactique de Kapteyn



« First attempt at a theory of the arrangement and motion of the sidereal system », *ApJ*, 1922

La certitude de Harlow Shapley

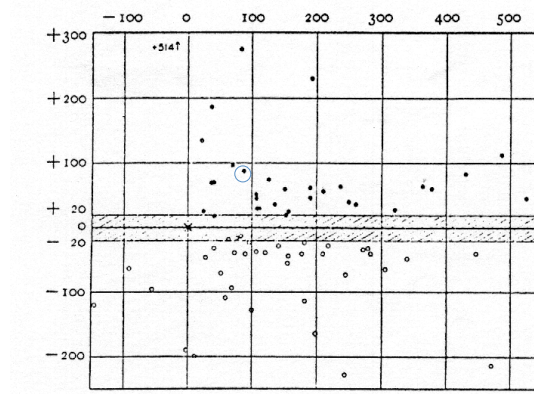
« Il semble nécessaire de conclure que, dans la direction de l'amas d'Hercule, l'extinction sélective de la lumière dans l'espace due à la diffusion moléculaire est négligeable. [...] A la lumière de ce résultat, nous avons probablement raison de supposer que l'absorption non sélective (obstruction) dans l'espace est aussi négligeable. »



1885 - 1972

« Thirteen Hundred Stars in the Hercules Cluster (Messier 13) », *Contr. Mt. Wilson Obs.*, 1915

Le modèle galactique de Shapley



«The distances, distribution in space and dimensions of 69 globular clusters », *Contr. Mt. Wilson Obs.*, 1917

Avant 1930

- L'extinction interstellaire générale est considérée comme négligeable (si même elle existe...).
- Il se peut qu'elle soit importante dans certaines directions (notamment vers le centre galactique – Sagittaire, selon Shapley).
- Des objets nébuleux sombres existent sans doute dans le plan galactique.

La découverte de Trumpler

Robert Julius Trümpler (1886 - 1956)

« Preliminary results on the distances, dimensions and space distributions of open star clusters », *Lick Obs. Bull.* 14, 1930.

« Absorption of light in the galactic system », *PASP*, 1930.



La méthode de Trumpler

- Mesurer la distance des amas ouverts par deux méthodes:
- (1) Parallaxe spectroscopique (dépend de l'extinction interstellaire),
- (2) A partir du calibrage diamètre réel – diamètre apparent des amas ouverts (ne dépend pas de l'extinction interstellaire).
- Comparer les résultats des deux méthodes.

Le résultat de la méthode de Trumpler

Il existe une extinction interstellaire non-négligeable

$A \approx 0,7 \text{ magn} / \text{kpc}$

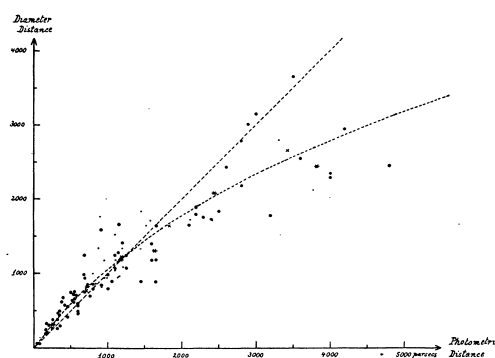


FIG. 1.—Comparison of the distances of 100 open star clusters determined from apparent magnitudes and spectral types (abscissae) with those determined from angular diameters (ordinates). The large dots refer to clusters with well-determined photometric distances, the small dots to clusters with less certain data (half weight). The asterisks and crosses represent group means. If no general space absorption were present, the clusters should fall along the dotted straight line; the dotted curve gives the relation between the two distance measures for a general absorption of 0.7 per 1000 parsecs.

Les conséquences de la découverte de Trumpler:

selon Trumpler en 1930 (1), le système galactique est toujours héliocentrique !

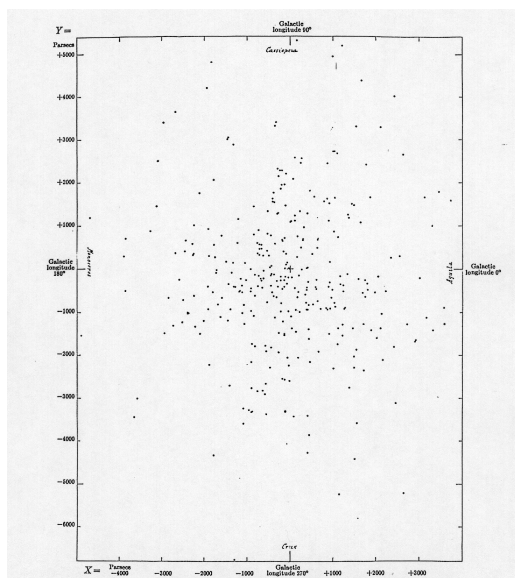


Fig. 4. Space distribution of 334 open clusters.

The figure gives the projection of the clusters on the galactic plane. The few clusters more distant from this plane than 500 parsecs are plotted as open circles. The position of the Sun is marked by the cross at the center; the scale of the X and Y coordinates (Table 16, columns 13-14) is given in parsecs. On this scale the dots represent the correct (limiting) dimensions for the largest clusters, but are about twice too large for the majority of the clusters.

Trumpler 1930 (2)

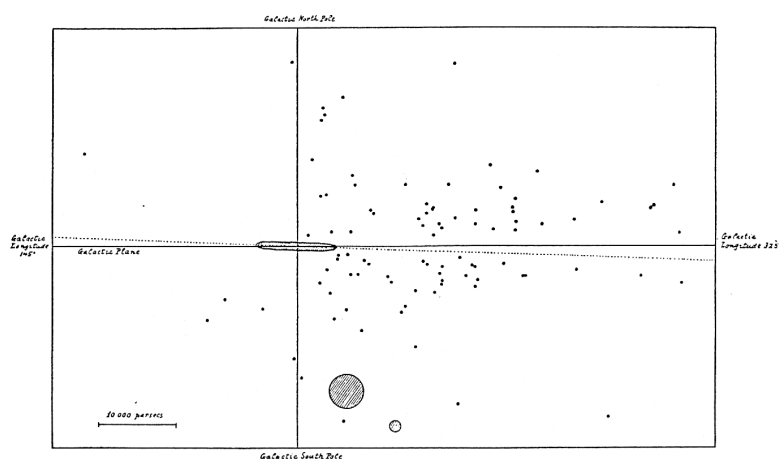


Fig. 9. Space distribution of open clusters, globular clusters, and the Magellanic Clouds.

In this figure the 83 known globular clusters are plotted as full dots in their projection on a plane which passes through the galactic pole and through galactic longitude 325° . On the scale of the chart the dots are about twice as large as the limiting dimensions of the globular clusters. The system of open clusters (Milky Way system) is represented by the elongated shaded area, the two Magellanic Clouds by the shaded circles. The dotted line indicates the plane of symmetry of the open clusters.

Trumpler

« Galactic star clusters »,

ApJ, 1940

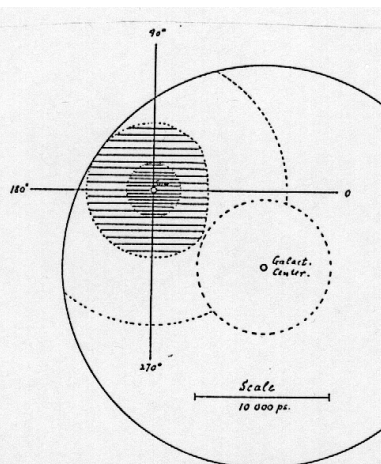
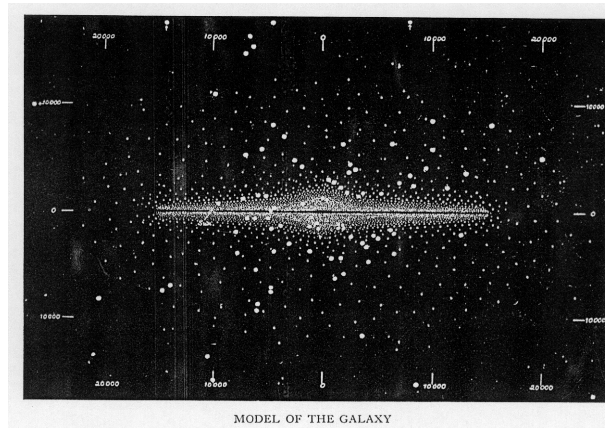


FIG. 3.—Distribution of known galactic star clusters in the projection on the galactic plane. Within the circle of dark shading the clusters are nearly uniformly distributed; in the ring of light shading they thin out rapidly. The large dotted circle drawn around the sun indicates the limit of 10,000 parsecs to which a search of clusters might be extended; the full circle shows the assumed limit of the galactic system.

Une représentation « moderne » de notre galaxie



Plaskett, J.S.: *The Dimensions and Structure of the Galaxy*,
Oxford University (Clarendon) Press, 1935.

Bibliographie succincte

- Berendzen R., Hart R. & Seeley D.: *Man discovers the galaxies*, Columbia University Press, 1983.
- Chaberlot F.: *La Voie lactée, histoire des conceptions et des modèles de notre galaxie, des temps anciens aux années 1930*, CNRS éditions, 2003.
- Verschuur G.L.: *Interstellar Matter (essays on curiosity and astronomical discovery)*, Springer Verlag, 1989.