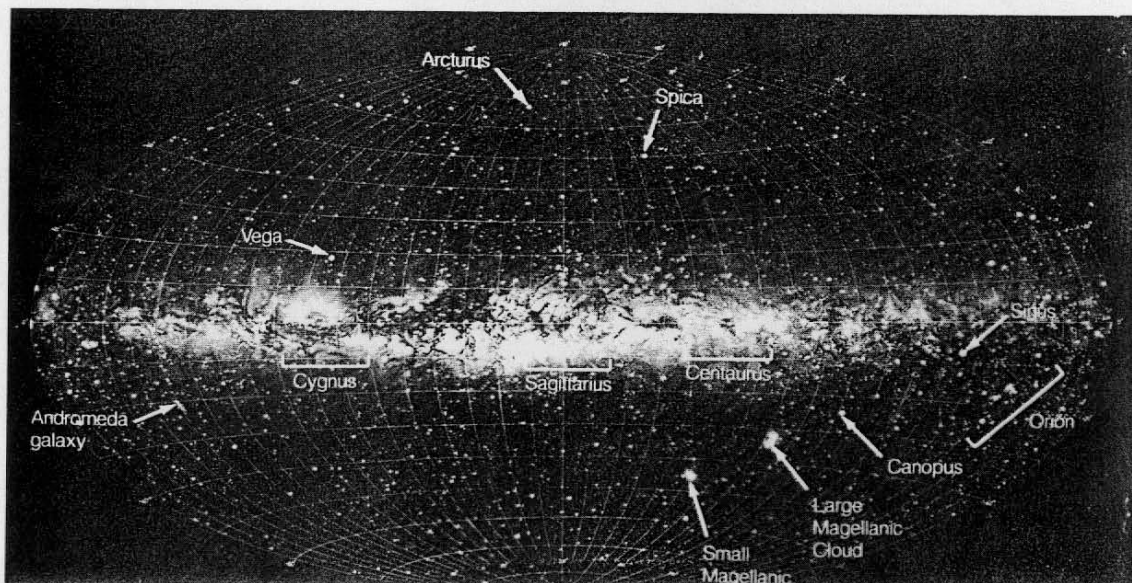
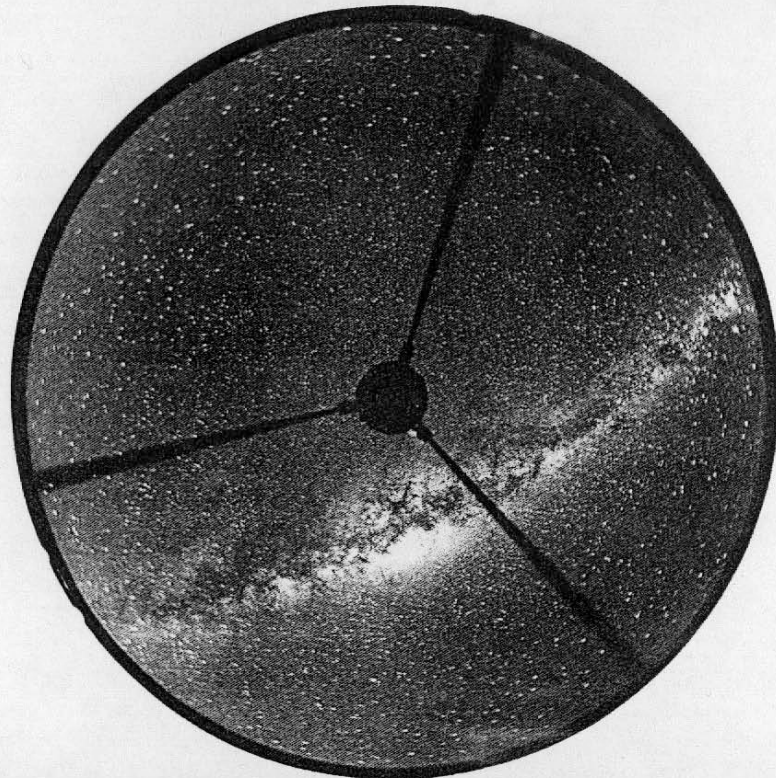
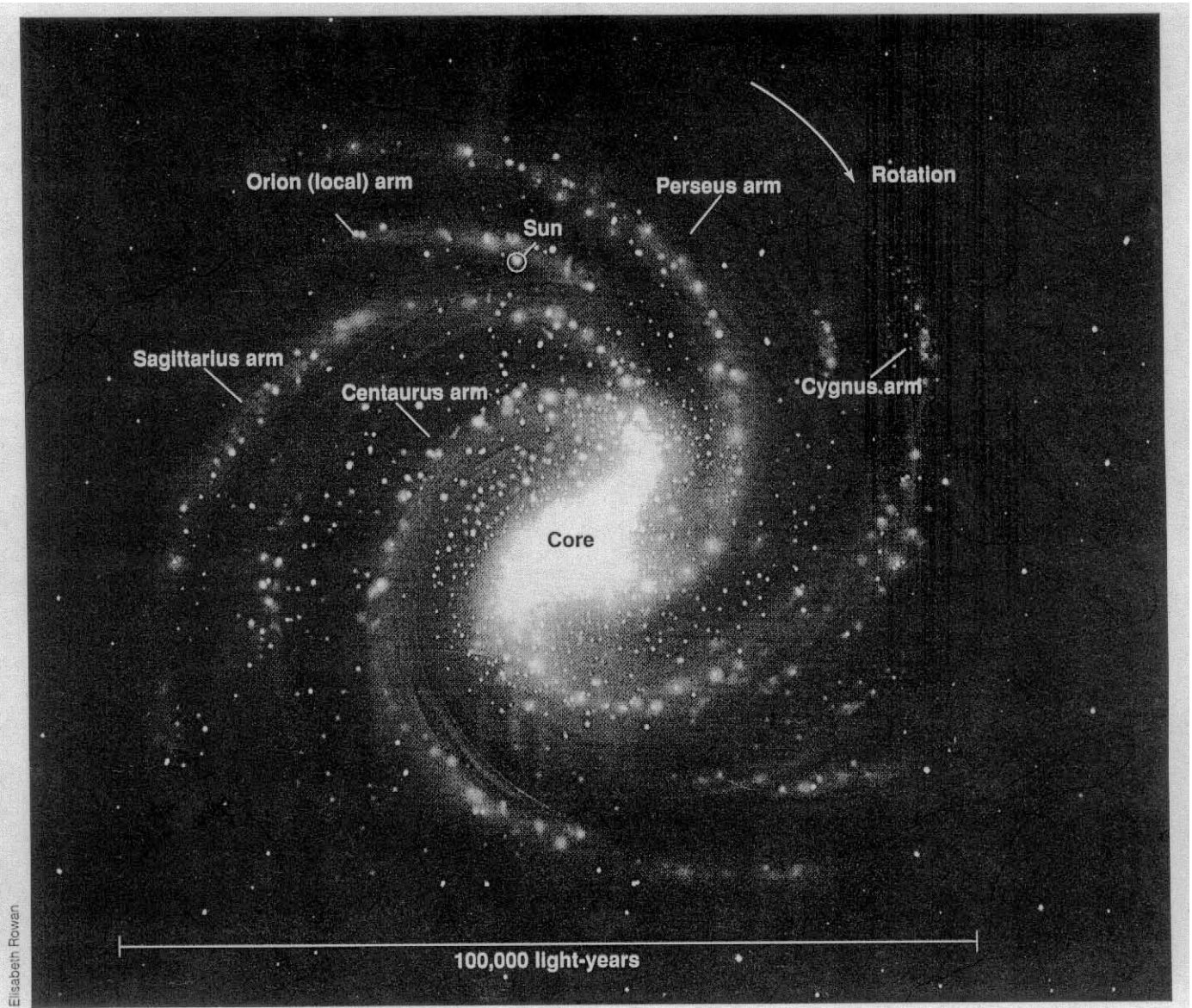


PETITE HISTOIRE ILLUSTRÉE DES MODÈLES DE LA VOIE LACTÉE

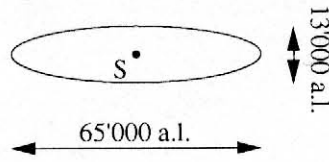
Figure 6-19
A wide-exposure photograph of the Milky Way, showing almost 180° of the galactic disk, highlights the dust and reveals that we live inside the disk of a spiral galaxy (top). (The three dark lines are the camera supports.) A mosaic drawing based on photographs gives a full 360° view of the Milky Way, as seen from the sun (bottom). Some familiar objects are marked on the drawing for reference.





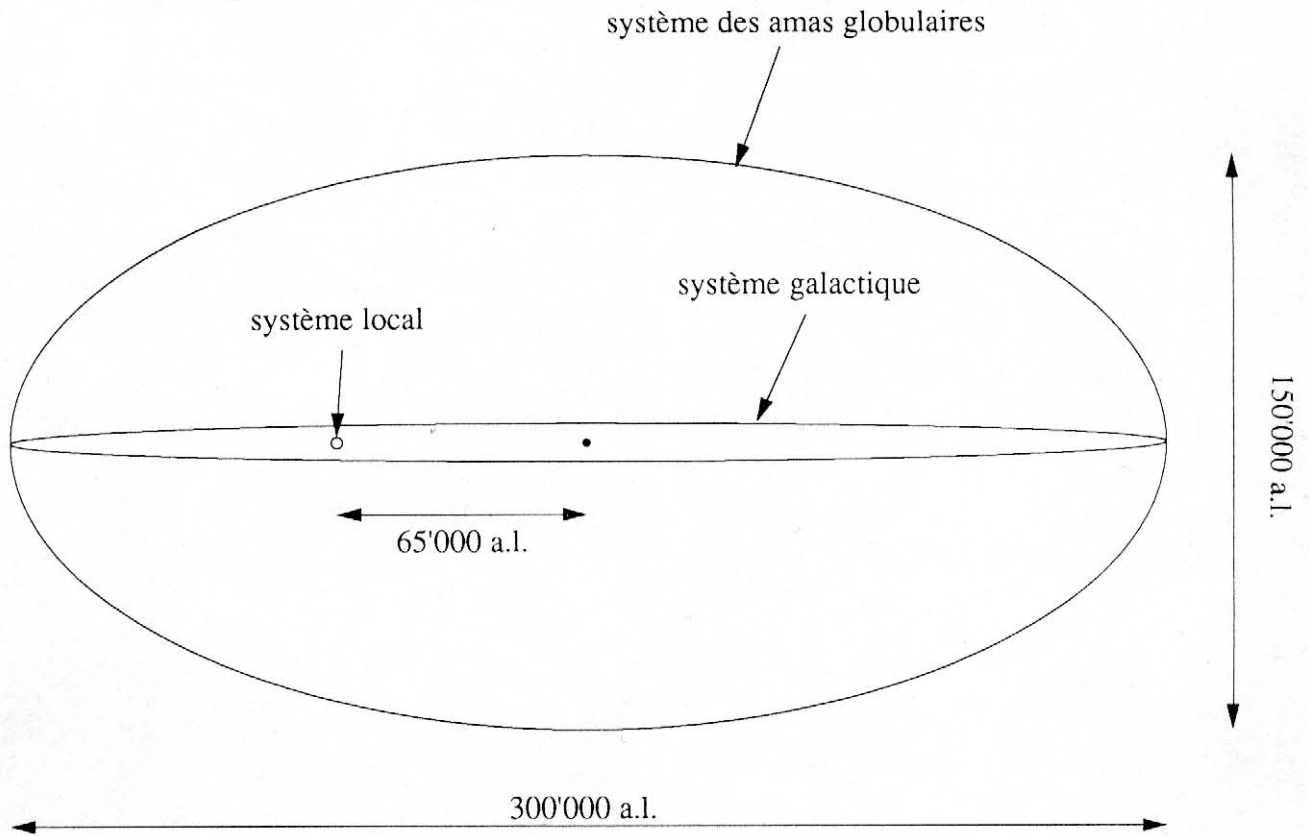
THE REAL MILKY WAY. The most recent evidence suggests that our Galaxy is a barred spiral, with a central bar about 10,000 light-years long. The graceful spiral arms are lit up by massive newborn stars. About 200 globular clusters—the densely packed spheres of stars—orbit the galactic center.

Modèle de Kapteyn (1922)

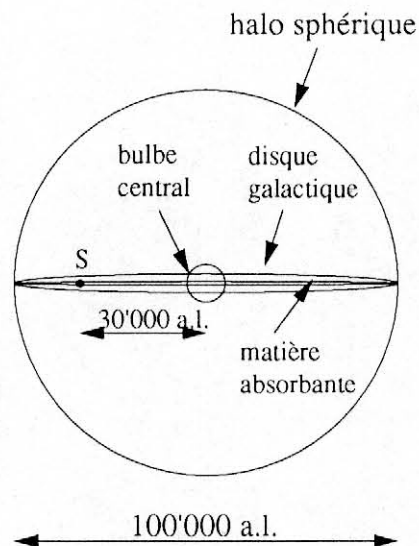


*comparaison de
trois modèles galactiques*

Modèle de Shapley (1918)



Modèle actuel (1980)



AVANT 1930

PLURALITE DES MODELES GALACTIQUES

EXEMPLE: **LE GRAND DEBAT** 26 AVRIL 1920

CURTIS: - MODELE GALACTIQUE = MODELE DE KAPTEYN
HELIOCENTRIQUE , DIAMETRE 30'000 - 50'000 a.l.

- NEBULEUSES SPIRALES EXTRA - GALACTIQUES

SHAPLEY: - MODELE GALACTIQUE
NON HELIOCENTRIQUE , DIAMETRE 300'000 a.l.

- NEBULEUSES SPIRALES INTRA - GALACTIQUES

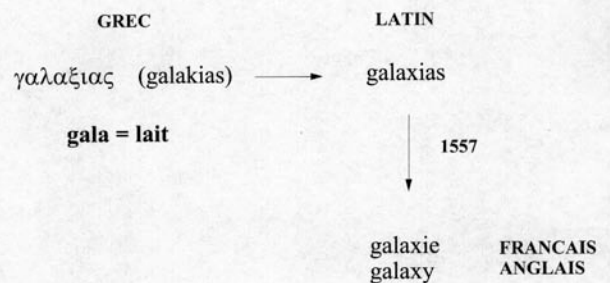
APRES 1930

CONSENSUS

TERMINOLOGIE

FRANCAIS	VOIE LACTEE
LATIN	VIA LACTEA
ITALIEN	VIA LATTEA
ESPAGNOL	VIA LACTEA
ANGLAIS	MILKY WAY
ALLEMAND	MILCHSTRASSE

ETYMOLOGIE



MYTHOLOGIES

- JET DE LAIT
- CHEMIN CELESTE - TRACE CELESTE
- RIVIERE / FLEUVE CELESTE
- SERPENT CELESTE
- DEMEURE DES DIEUX ET DES HEROS
- ARBRE COSMIQUE - PILIER COSMIQUE
- COUTURE DU CIEL - ECHINE DE LA NUIT
- PAILLE , CENDRES , FUMEE , POUSSIERE

⇒ VOIE LACTEE = ? ETOILES

ANTIQUITE

DEMOCRITE (400 av. J.C.)

VOIE LACTEE = PHENOMENE STELLAIRE

"[...] la Voie Lactée est constituée d'étoiles très petites et serrées qui, à cause de la distance du ciel à la terre, nous paraissent former une masse unie, [...]."

ARISTOTE (384 - 322 av. J.C.)

VOIE LACTEE = PHENOMENE METEOROLOGIQUE
= PHENOMENE SUBLUNAIRE

IDEM ETOILES FILANTES ET COMETES

OBSERVATIONS ≠ ARISTOTE

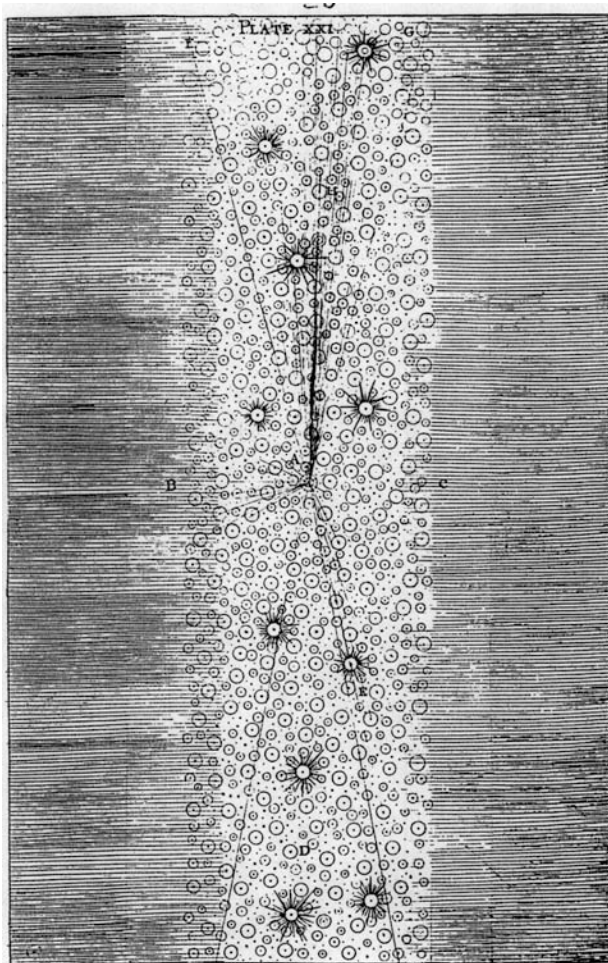
AVERROES (1126 -1198) : PAS DE PARALLAXE POUR LA VOIE LACTEE

ABOULFARAG (1226 - 1286) : MOUVEMENT DES PLANETES DEVANT LA VOIE LACTEE

GALILEE , 1610 , *LE MESSAGER CELESTE*

LUNETTE ASTRONOMIQUE

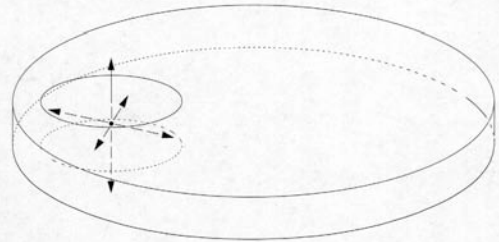
"La Galaxie n'est rien d'autre qu'un amas d'étoiles innombrables regroupées en petits tas."



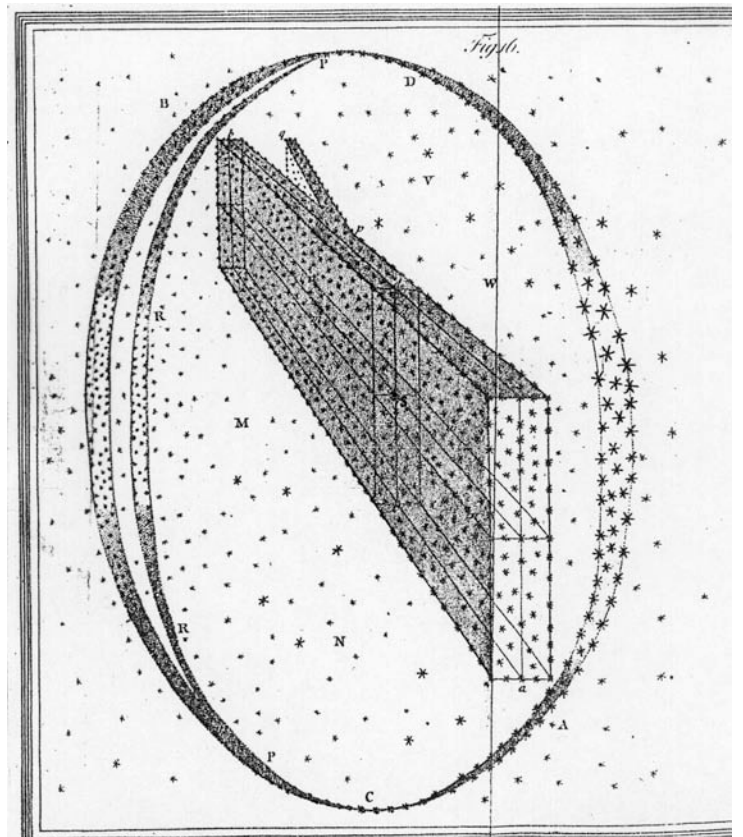
VOIE LACTEE = STRATE / COUCHE STELLAIRE

WRIGHT (1750) , KANT (1755) , LAMBERT (1760) , W. HERSCHEL (1780)

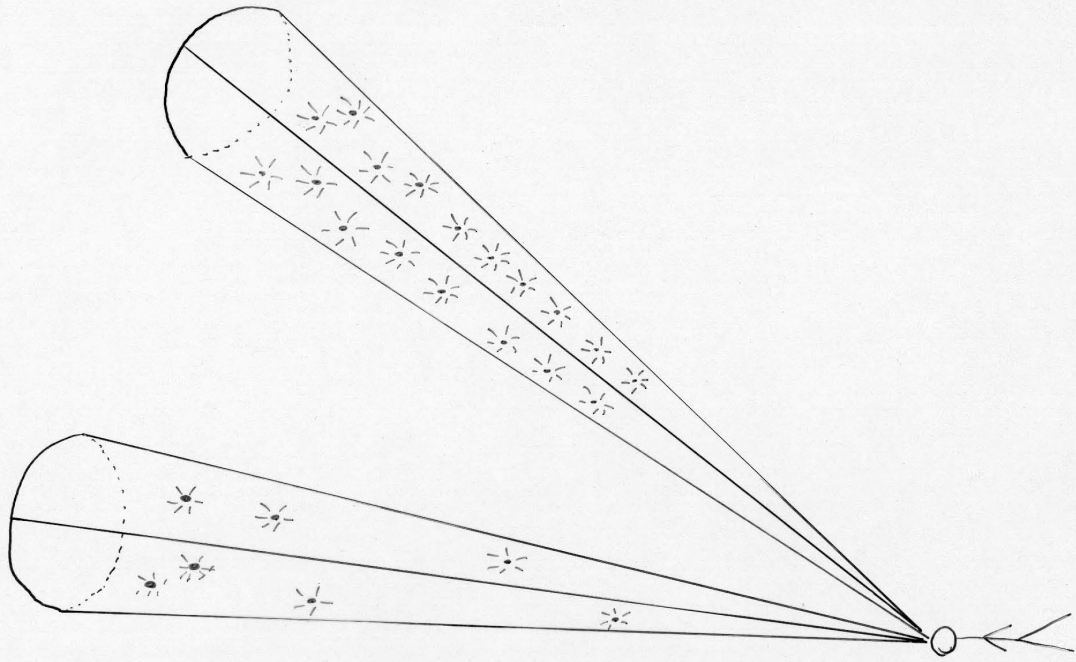
DISQUE PLAT



+ VOIES LACTEES EXTERIEURES



comptage
l'étoiles ⇒ Statistique stellaire
dimensions, densité, ...
du système galactique



HYPOTHESES EN STATISTIQUE STELLAIRE

W. HERSCHEL (1800)

1. (PAS D'ABSORPTION INTERSTELLAIRE)
2. TELESCOPES ATTEIGNENT LES LIMITES DU SYSTEME GALACTIQUE
3. DISTRIBUTION DES ETOILES UNIFORME
4. LES ETOILES SONT IDENTIQUES
5. RAPPORT DES DISTANCES = RAPPORT DES MAGNITUDES APPARENTES

F.G.W. STRUVE (1847)

1. ABSORPTION INTERSTELLAIRE ?
2. TELESCOPES ATTEIGNENT LES LIMITES DU SYSTEME GALACTIQUE ?
3. DISTRIBUTION DES ETOILES PAS EXACTEMENT UNIFORME
4. LES ETOILES NE SONT PAS EXACTEMENT IDENTIQUES
5. PARALLAXE TRIGONOMETRIQUE ET PLUS LA MAGNITUDE APPARENTE D'UNE ETOILE EST ELEVEE, PLUS SA DISTANCE MOYENNE EST GRANDE

SEELIGER (1898)

1. PAS D'ABSORPTION INTERSTELLAIRE
2. TELESCOPES ATTEIGNENT LES LIMITES DU SYSTEME GALACTIQUE
3. DISTRIBUTION DES ETOILES PAS EXACTEMENT UNIFORME ET DECROISSANCE DE LA DENSITE D'ETOILES
4. LES ETOILES NE SONT PAS IDENTIQUES ET FONCTION DE LUMINOSITE (THEORIQUE)
5. PARALLAXE TRIGONOMETRIQUE ET PLUS LA MAGNITUDE APPARENTE D'UNE ETOILE EST ELEVEE, PLUS SA DISTANCE MOYENNE EST GRANDE

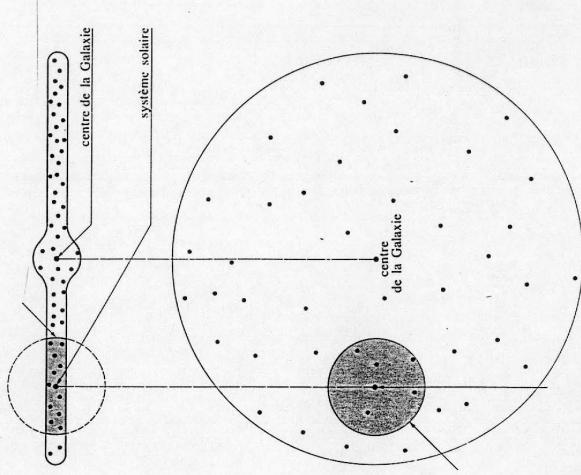
KAPTEYN (1900-1920)

1. ABSORPTION INTERSTELLAIRE NEGLIGEABLE
2. TELESCOPES ATTEIGNENT LES LIMITES DU SYSTEME GALACTIQUE
3. DISTRIBUTION DES ETOILES PAS EXACTEMENT UNIFORME ET DECROISSANCE DE LA DENSITE D'ETOILES
4. LES ETOILES NE SONT PAS IDENTIQUES ET FONCTION DE LUMINOSITE (EMPIRIQUE)
5. PARALLAXE TRIGONOMETRIQUE ET STATISTIQUE ET PLUS LA MAGNITUDE APPARENTE D'UNE ETOILE EST ELEVEE ET PLUS SON MOUVEMENT PROPRE EST PETIT, PLUS LA PROBABILITE QUE L'ETOILE SOIT LOINTAINE EST ELEVEE

→ MODELES ELLIPSOIDaux HELIOCENTRIQUES

ABSORPTION INTERSTELLAIRE

- VISIBILITE OPTIQUE JUSQU'A 10'000 OU 15'000 a.l.



- SUREVALUATION DES DISTANCES

- DECROISSANCE DE LA DENSITE D'ETOILES

ABSORPTION INTERSTELLAIRE NEGLIGEE JUSQU'EN 1930

DISTRIBUTION DES ETOILES

DOMAINE OPTIQUE

→ HELIOCENTRISME

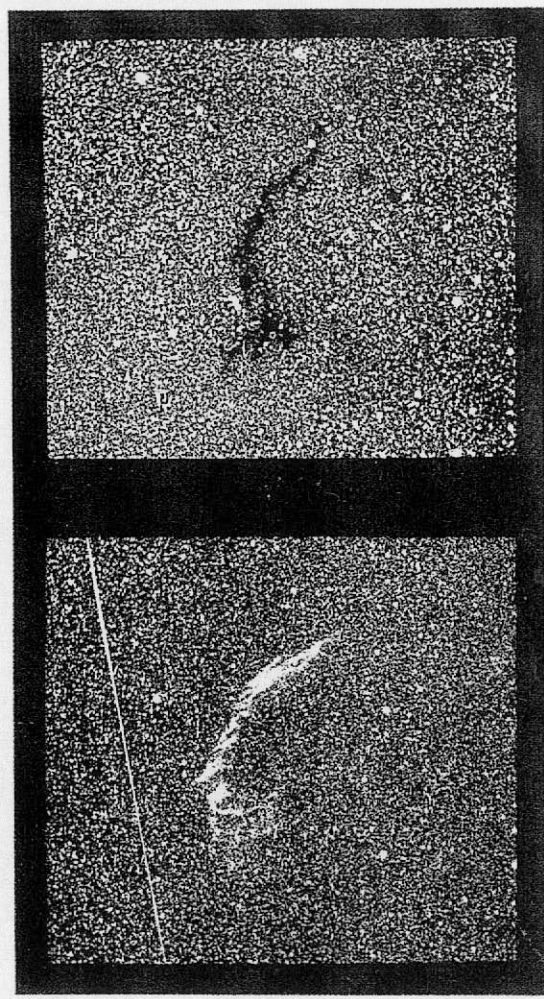
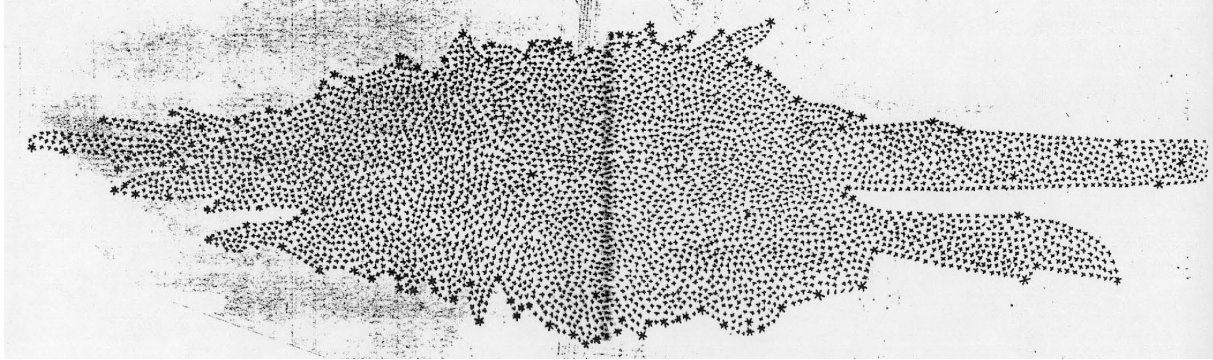


Figure 3

Comparaison de la « nébuleuse gazeuse NGC 6995 »
et d'un « objet sombre dans Céphée », photographiés par Barnard.



Seeliger 1898

Hypothèse : pas d'extinction interstellaire

h_m = éclat apparent d'une étoile de magnitude apparente m

A_m = nombre d'étoiles contenues dans un angle solide ω et de magnitudes apparentes $\leq m$

$$\alpha = \frac{A_m}{A_{m-1/2}}$$

Théorie : si distribution des étoiles uniforme $\Rightarrow \alpha = \frac{3}{10}$ et $A_m \propto h_m^{-3/2}$

mais

Comptages empiriques d'étoiles $\Rightarrow \alpha \leq \frac{3}{10} \Rightarrow \alpha = \frac{3-\lambda}{10}$ et $A_m \propto h_m^{\lambda-3/2}$ ($0 \leq \lambda \leq 1$)

Théorème $\forall \varphi$, $D(r) \propto r^{-\lambda}$ si $A_m \propto h_m^{\lambda-3/2}$ dans

$$A_m = \omega \int_{h_m r^2}^H D(r) \cdot r^2 dr \int_{h_m r^2}^H \varphi(x) dx \text{ avec } x = hr^2$$

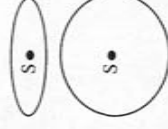
Interprétations

1 Aujourd'hui : extinction interstellaire

\Rightarrow décroissance de $D(r)$: apparente

2 Seeliger : pas d'extinction interstellaire

\Rightarrow décroissance de $D(r)$: réelle

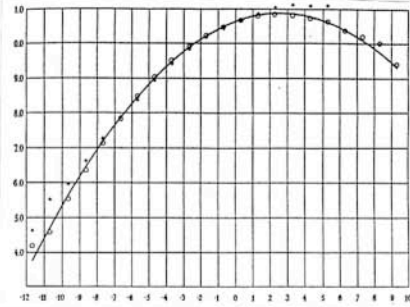


Kapteyn

Déterminations de la fonction des luminosités

1920 : "loi de la nature" gaussienne

$$\varphi(M) = 0,0451 \frac{0,2818}{\sqrt{\pi}} \exp[-0,2818^2 (M - 2,693)^2]$$



Rougisement interstellaire

1904, 1909, 1914

Kapteyn à Hale, le 23 septembre 1915

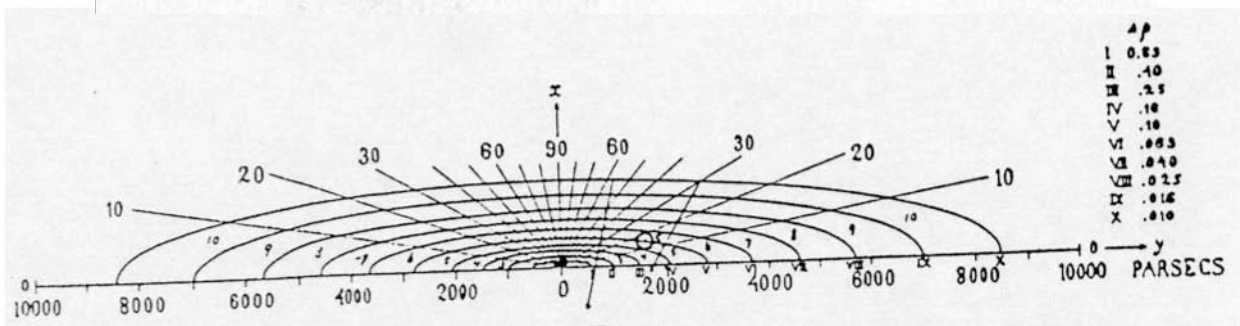
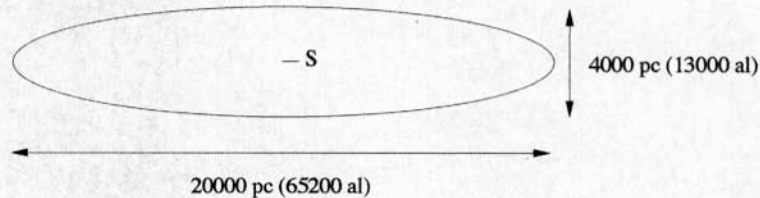
“Une des conséquences sensationnelles [du fait que la densité d'étoiles décroît avec la distance au Soleil] est que nous devons admettre que notre système solaire doit être au centre ou près du centre de l'univers, ou en tout cas près d'un centre local.

Il y a vingt ans ceci m'aurait rendu très sceptique [...]. Maintenant ce 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.”

“Univers de Kapteyn”

quasi héliocentrisme, ellipsoïdes concentriques à densité d'étoiles décroissante

Kapteyn [mai 1922]:



Le système galactique selon les modèles de la statistique stellaire

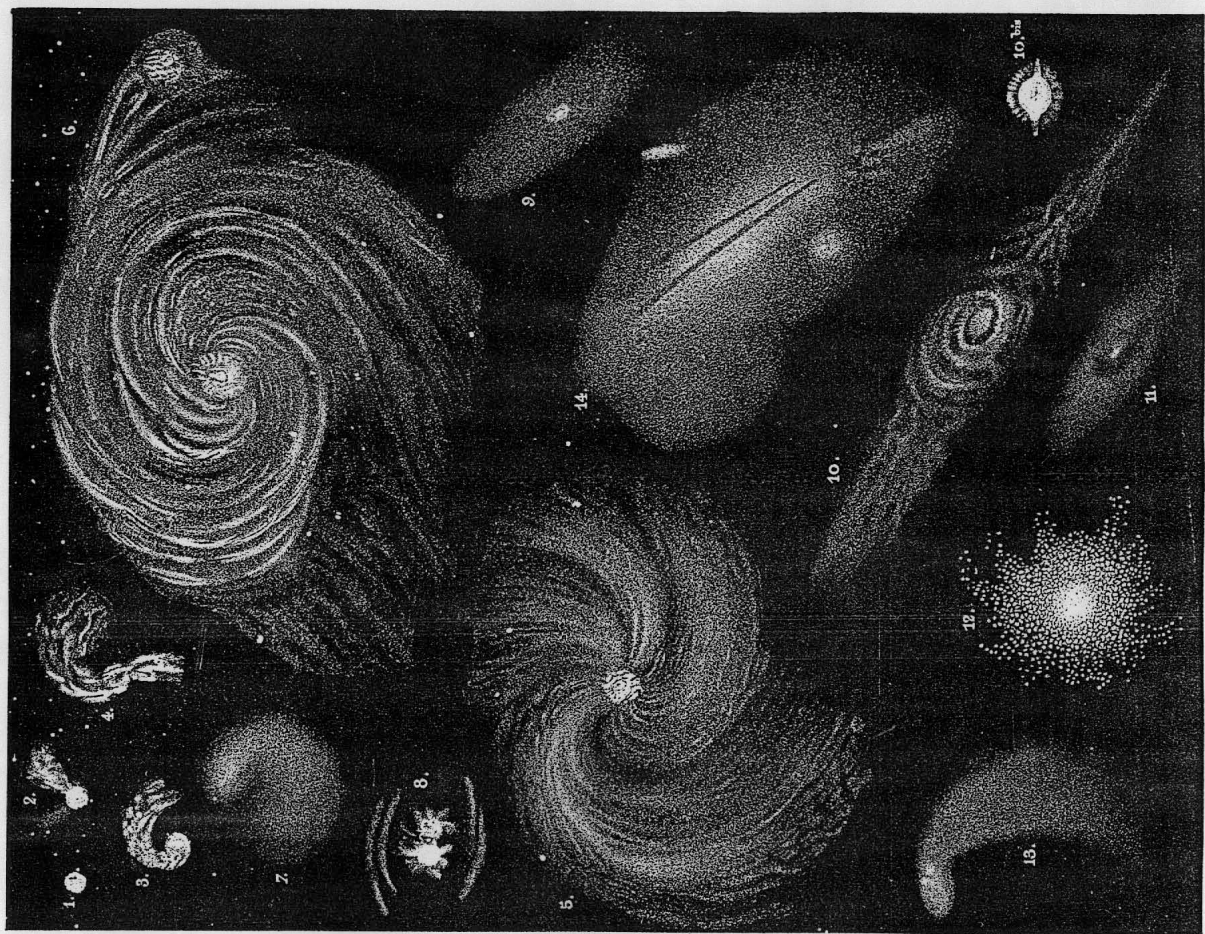
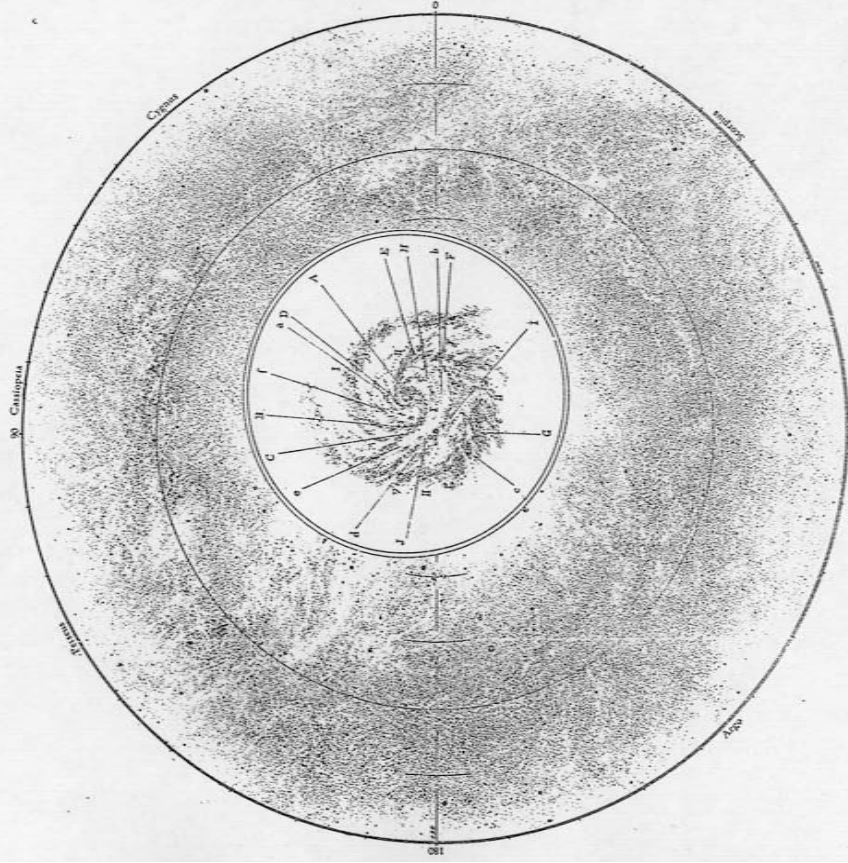
Période 1900-1930

	centre		extensions (pc)		forme	extinction interstellaire ?
	direction	distance (pc)	petit-axe	grand-axe		
Seeliger (1898)	(soleil)		5000	10000	sphéroïde	non
Seeliger (1912)	(soleil)		3300	17500	sphéroïde	non
Kapteyn (1892)	Andromède				sphéroïde central + anneau spiralé	non
Kapteyn (1900-1920)	(soleil)				sphéroïde	non
Kapteyn (1920)	(soleil)		3000	24000	ellipsoïde	non
Kapteyn (1922)	Cassiopee	650	4000	20000	ellipsoïde	non
Stratonoff (1900)					assemblage de nuages d'étoiles	non
Schwarzschild (1910)	(soleil)				sphéroïde	non
Walkey (1914)	Ophiucus	120		6000		non
Walkey (1915)	Carène	150				non
Eddington (1914)	(soleil)				sphéroïde central + anneau d'étoiles	peut-être
Nort (1917)	Sagittaire				ellipsoïde	non
Halm (1917)	Gémeaux-Orion				7 spirales	oui
Reboul (1918)	(soleil)		10000	35000	sphéroïde	non
Charlier (1916)	Carène	88		4000	sphéroïde	non
Charlier (1926)					sphéroïde central + anneau d'étoiles	non
Kreiken (1926)	Autel	2270			sphéroïde irrégulier	peut-être
Pannekoek (1919)	Sagittaire			100000	sphéroïde irrégulier + assemblage de nuages d'étoiles	dans certaines régions

Easton 1913

Hypothèses

- 1 Parties de la Voie Lactée les plus brillantes = les plus proches
- 2 L'extinction interstellaire est négligeable
- 3 Notre galaxie = entre M51 et M101 (mais nébuleuses spirales ≠ îles d'univers)



HYPOTHESES COSMOGONIQUES

	hypothèses évolutionnistes	hypothèses catastrophistes	dynamique des systèmes stellaires
1755	nébulaire Kant		
1780-1820	“clustering power” William Herschel		
1852	nébulaire Alexander		
1884	tourbillonnaire Faye		
1910		capture See	Poincaré
↓		étoile-étoile Arrhenius	Eddington
1920		noyau-nébuleuse Belot	Jeans
↓			Charlier
1930			Lindblad

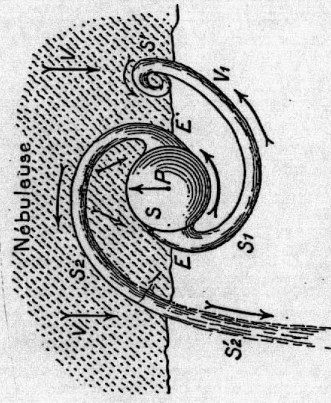


Fig. 14. — Schéma de la formation d'une spirale par choc d'une nébuleuse sur l'équateur d'un noyau S en rotation.

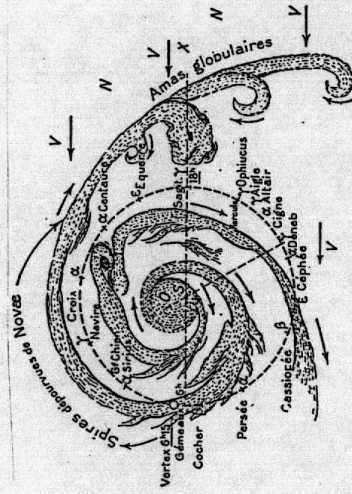


Fig. 15. — La Voie lactée assimilée en plan à la nébuleuse des Chiens de chasse. S position du Soleil.

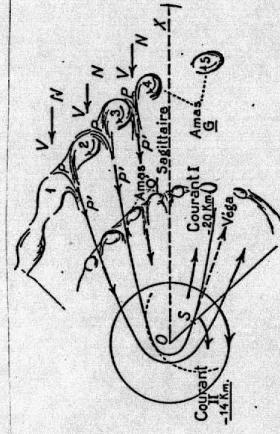
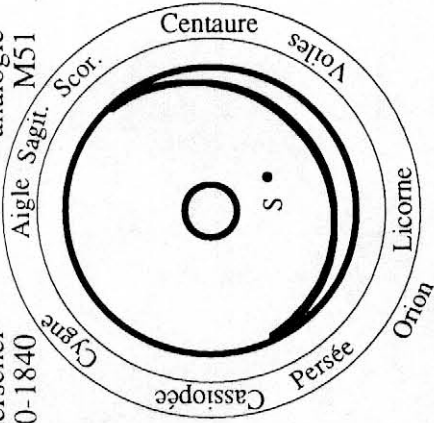
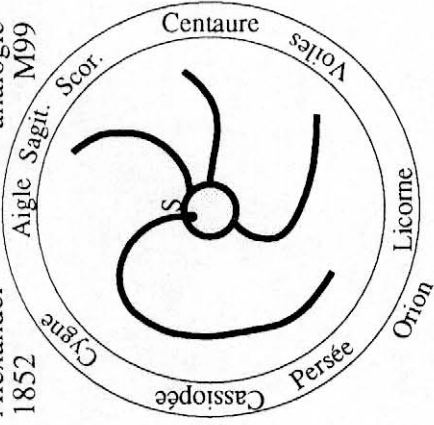


Fig. 16. — Formation des amas globulaires et trajectoire P du protosoleil.

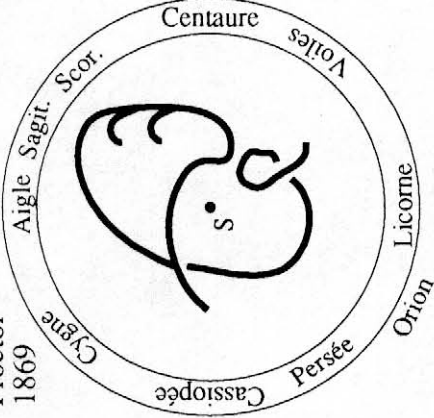
J. Herschel
1830-1840



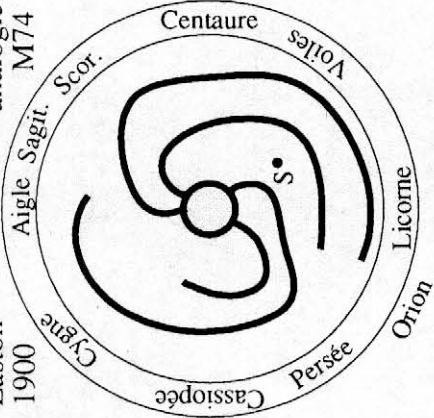
Alexander
1852



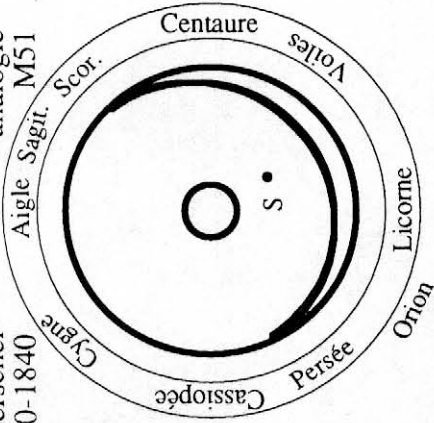
Proctor
1869



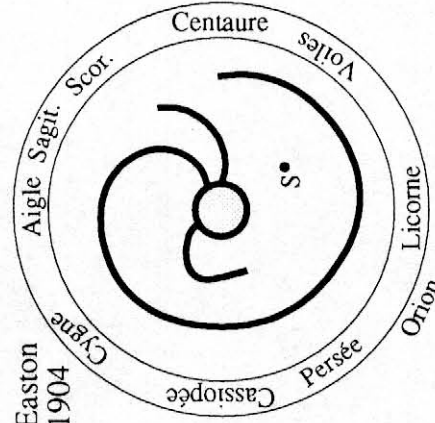
Easton
1900



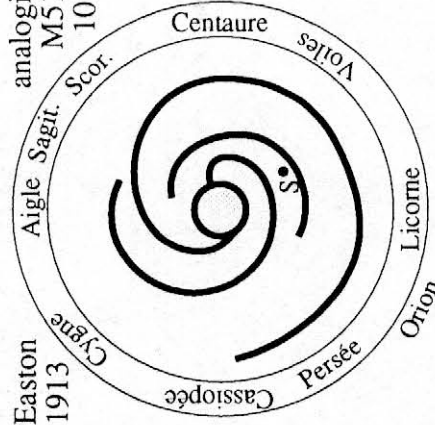
Easton
1904



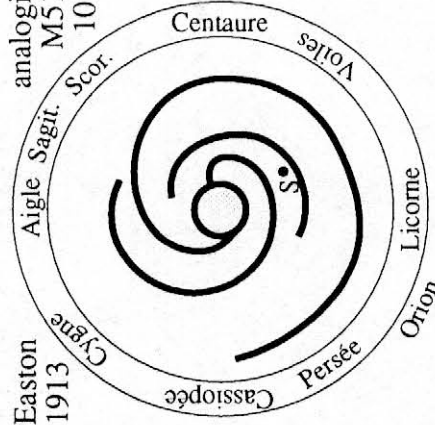
Easton
1904



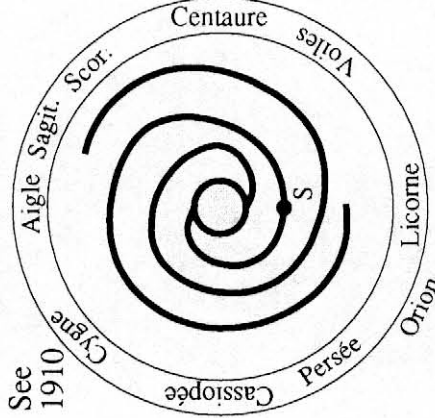
Easton
1913



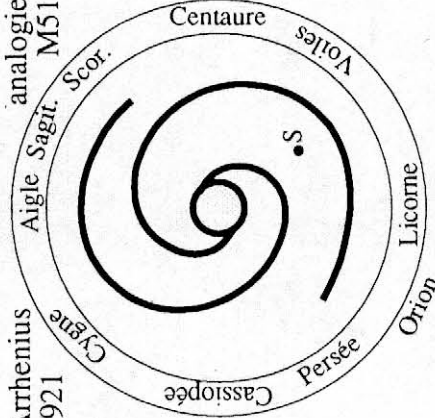
analogie
M51
101



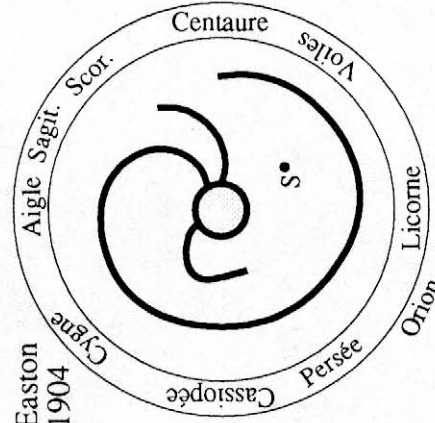
See
1910



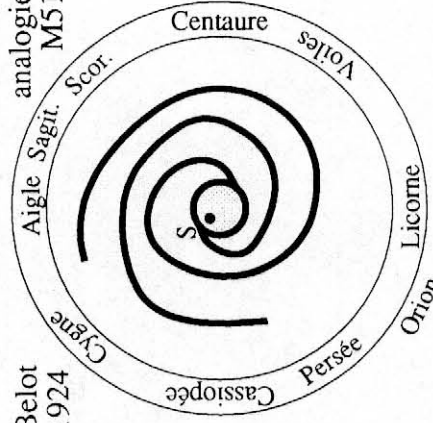
Arrhenius
1921



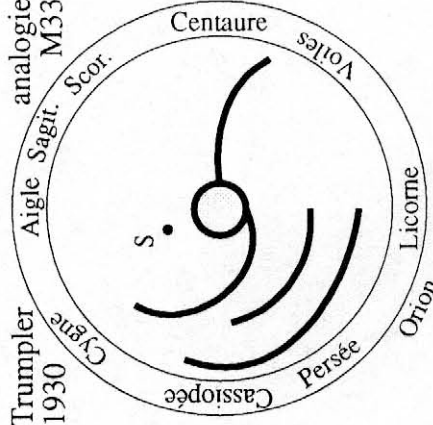
Easton
1924



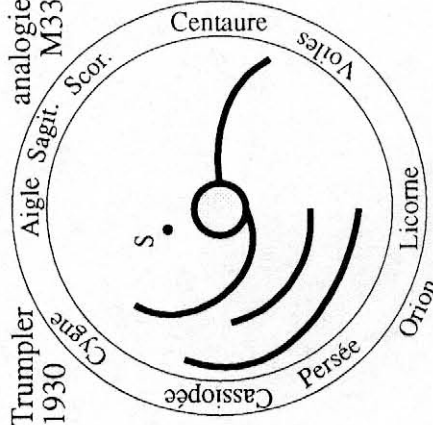
Belot
1924



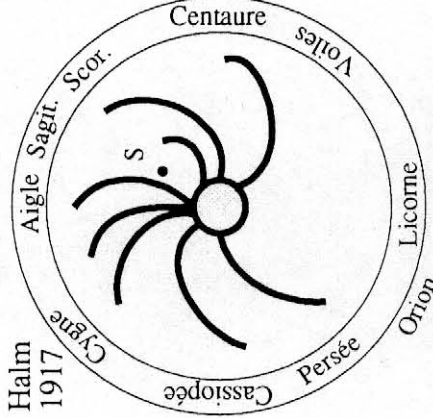
Trumpler
1930



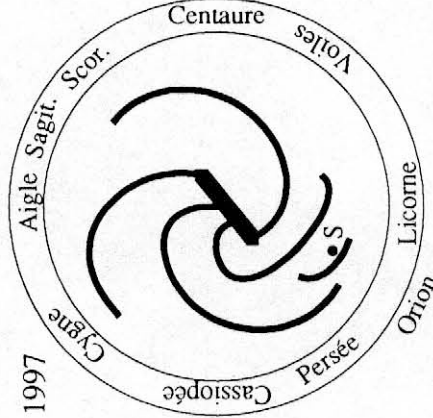
analogie
M33



Halm
1917



1997



DISTRIBUTION DES AMAS GLOBULAIRES SHAPLEY (1915 - 1920)

HYPOTHESES

- ABSORPTION INTERSTELLAIRE NEGLIGEABLE
- SYSTEME DES AMAS GLOBULAIRES CONNECTE ET COEXTENSIF AU SYSTEME GALACTIQUE

METHODE

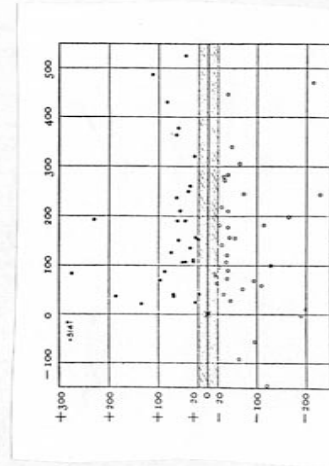
- CEPHEIDES ET RR LYRAE COMME CRITERE DE DISTANCE

RESULTATS

- SYSTEME DES AMAS GLOBULAIRES NON HELIOCENTRIQUE
- DIAMETRE : 300'000 a.l.
- SOLEIL - CENTRE DU SYSTEME AMAS GLOBULAIRES : 65'000 a.l.

CONCLUSIONS

- SYSTEME GALACTIQUE APLATI NON HELIOCENTRIQUE
- DIAMETRE : 300'000 a.l.
- SOLEIL - CENTRE DU SYSTEME GALACTIQUE : 65'000 a.l.

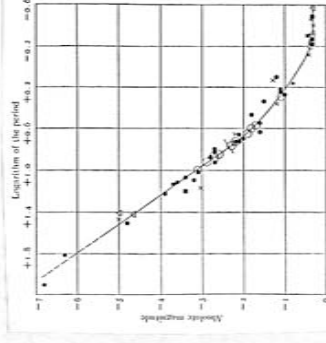


Shapley

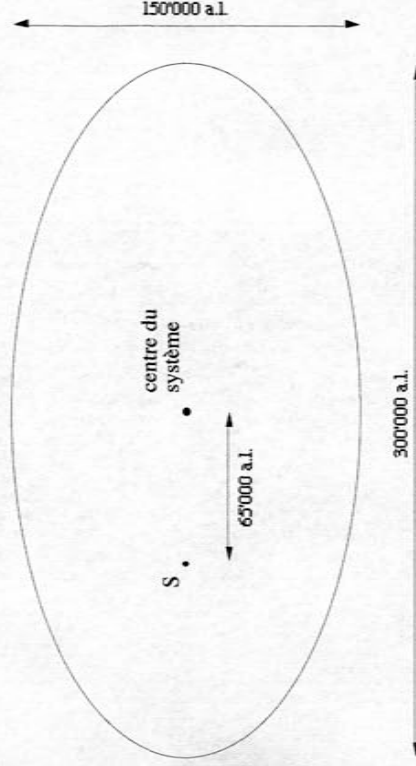
Distance des amas globulaires

hypothèse : extinction interstellaire négligeable

- 1) Céphéïdes
- 2) RR Lyrae
- 3) étoiles les plus brillantes
- 4) distances - diamètres



Système des amas globulaires



direction du centre : constellation du Sagittaire

$$l_{\approx 1932} \approx 325^\circ$$

$$l_{\approx 1932} \approx 358^\circ$$

Shapley

HYPOTHESE connexion système des amas globulaires - système de la Galaxie

1915 - 1920 les "évidences"

1) plan de symétrie du système des amas globulaires = plan galactique

2) zone d'absence

pas d'extinction interstellaire

autres explications

amas globulaires

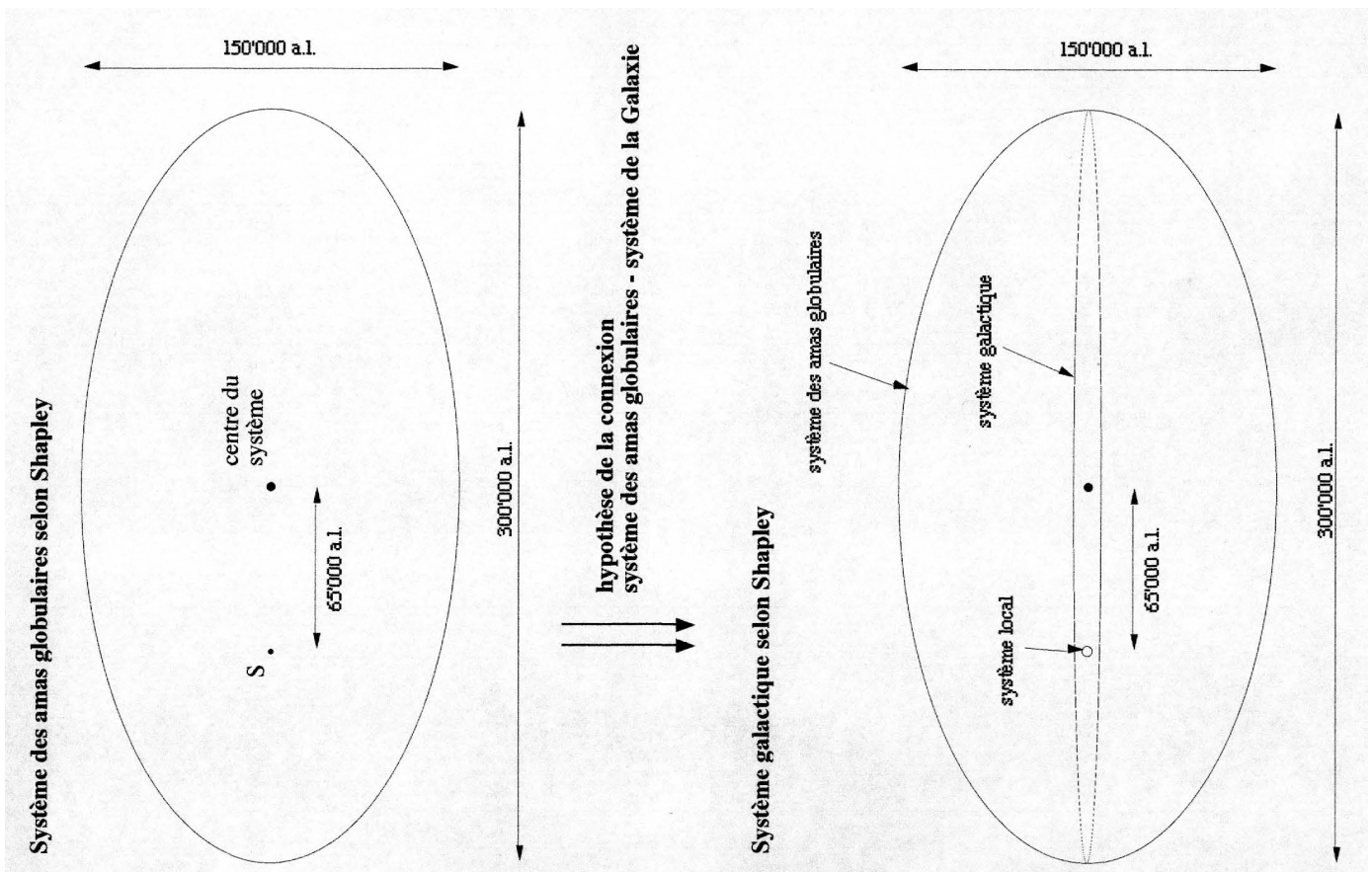
nébuleuses spirales ≠ îles d'univers

"impossibilité dynamique"

"force répulsive"

1961

"hypothèse audacieuse et prématurée transportée de la classe des postulats à la classe des suppositions acceptées"



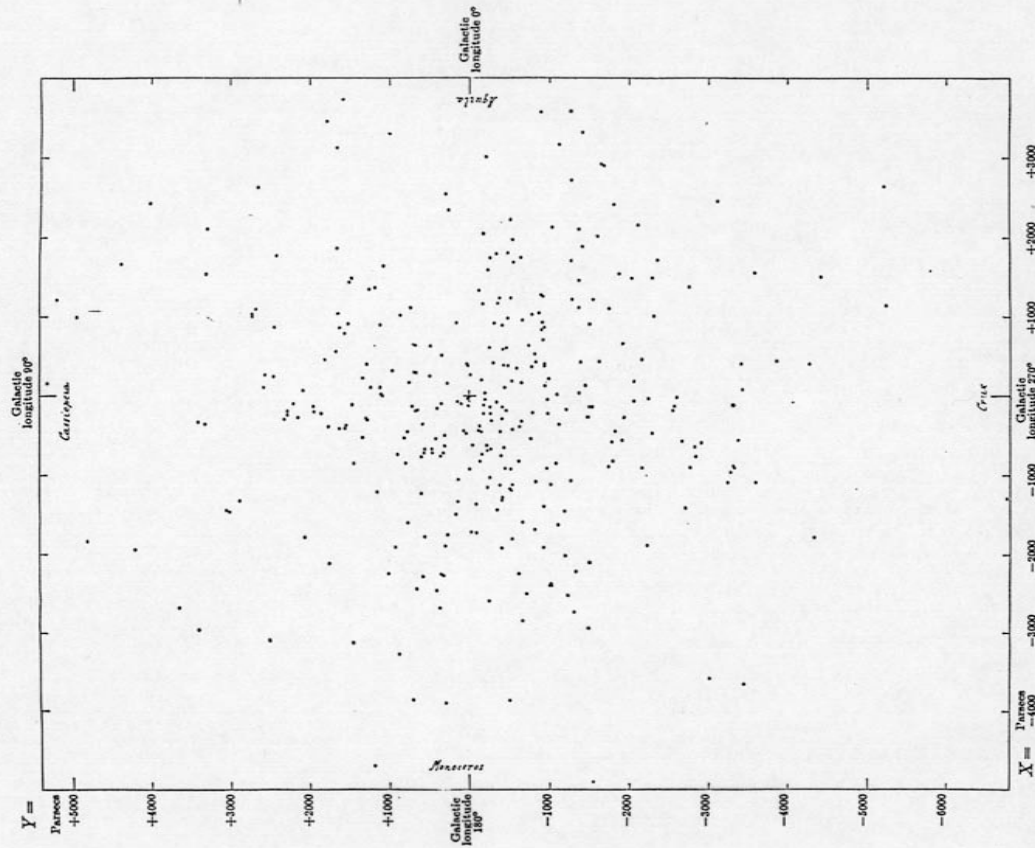


Fig. 4. Space distribution of 334 open clusters. The figure gives the projection of the clusters on the galactic plane. The few clusters more distant from this plane than 500 parsecs are plotted as open circles. The position of the Sun is marked by a cross. The position of the cluster NGC 3532 is indicated by an asterisk. Some traces of spiral structure are indicated by dotted lines, the large open circles or ovals represent the probable location of cluster groups or star clouds, the shaded areas, dark clouds of absorbing material with their sectors of obscuration.

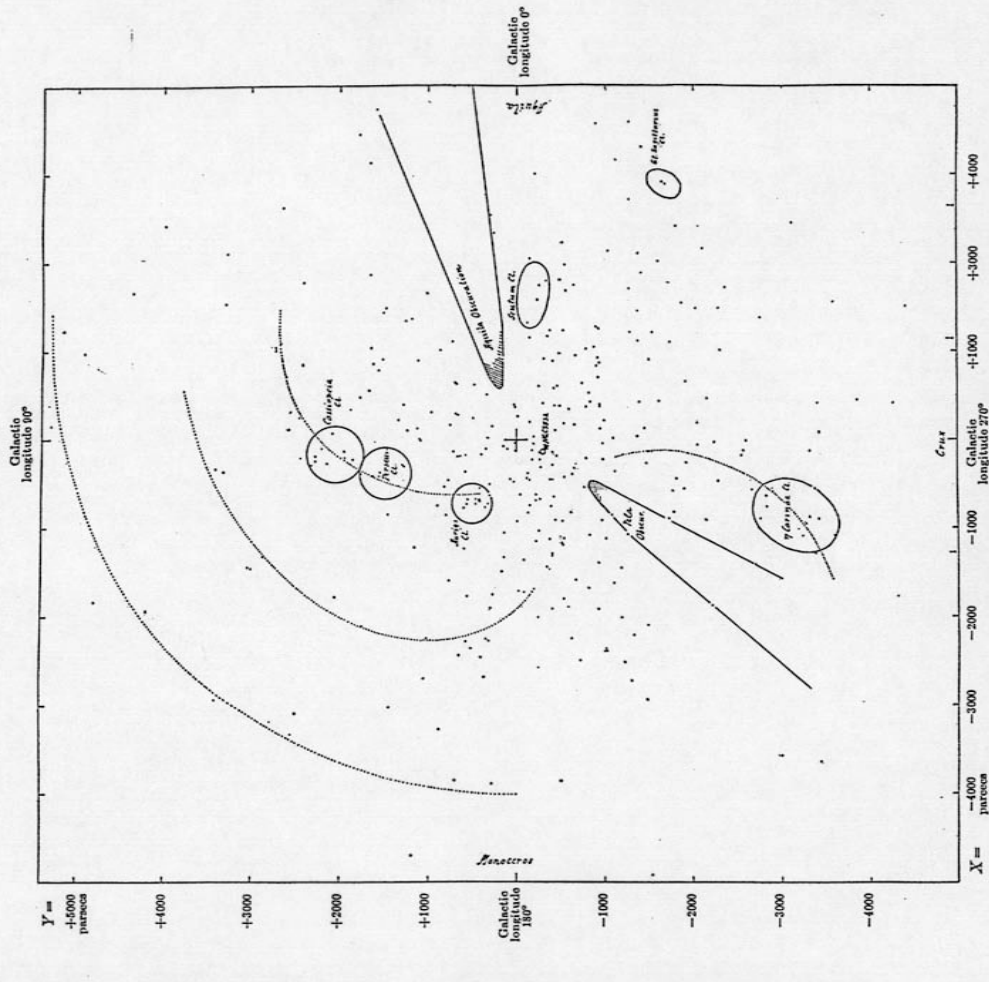


Fig. 8. Special features of the cluster system. This figure gives a projection of the clusters on the galactic plane like Fig. 4. The position of the Sun is marked by a cross, that of the median point of the system by an open circle, the cluster NGC 3532 by an asterisk. Some traces of spiral structure are indicated by the dotted lines, the large open circles or ovals represent the probable location of cluster groups or star clouds, the shaded areas, dark clouds of absorbing material with their sectors of obscuration.

VERS UN CONSENSUS (1925 - 1935)

RECONNAISSANCE D'UNE ABSORPTION INTERSTELLAIRE NON NEGLIGEABLE (TRUMPLER 1930)
 DECOUVERTE ET THEORIE DE LA ROTATION GALACTIQUE (LINDBLAD ET OORT 1925-1930)
 CONFIRMATION DE LA NON HELIOCENTRICITE DU SYSTEME GALACTIQUE
 ABANDON DU MODELE DE KAPTEYN ACCEPTATION DU MODELE DE SHAPLEY
 MAIS DISTANCES DE SHAPLEY 2 OU 3 FOIS TROP GRANDES
 REDUCTION DES DISTANCES DE SHAPLEY

MODELE DE PLASKETT (1930 - 1935)

SYSTEME GALACTIQUE NON HELIOCENTRIQUE
 DIAMETRE : 100'000 a.l.
 DISTANCE SOLEIL CENTRE : 30'000 a.l.
 BULBE CENTRAL , HALO SPHERIQUE , BANDE DE MATIERE INTERSTELLAIRE

TRAVAUX DE HUBBLE SUR LA DISTANCE DES NEBULEUSES SPIRALES (1925 - 1935)
 CRITERE : CEPHEIDES
 SYSTEMES EXTRA-GALACTIQUES

Trumpler 1930

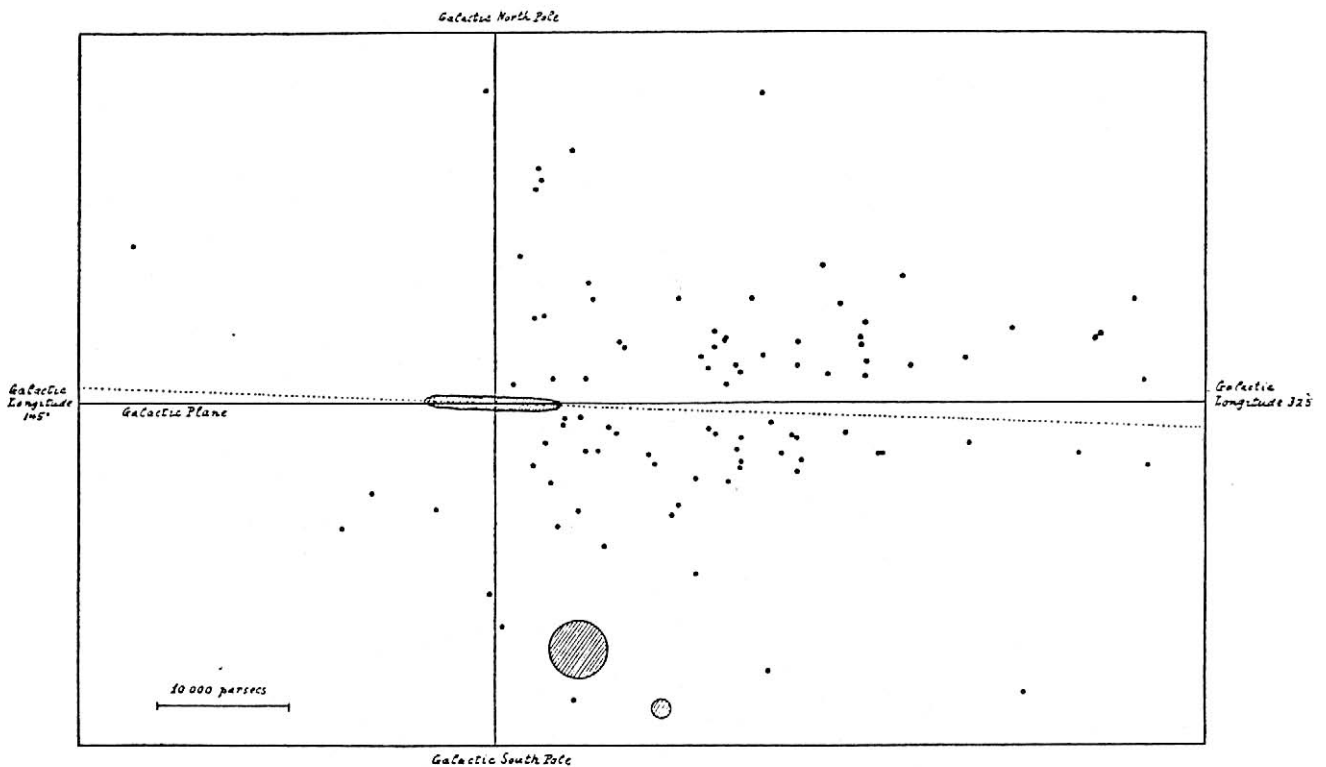
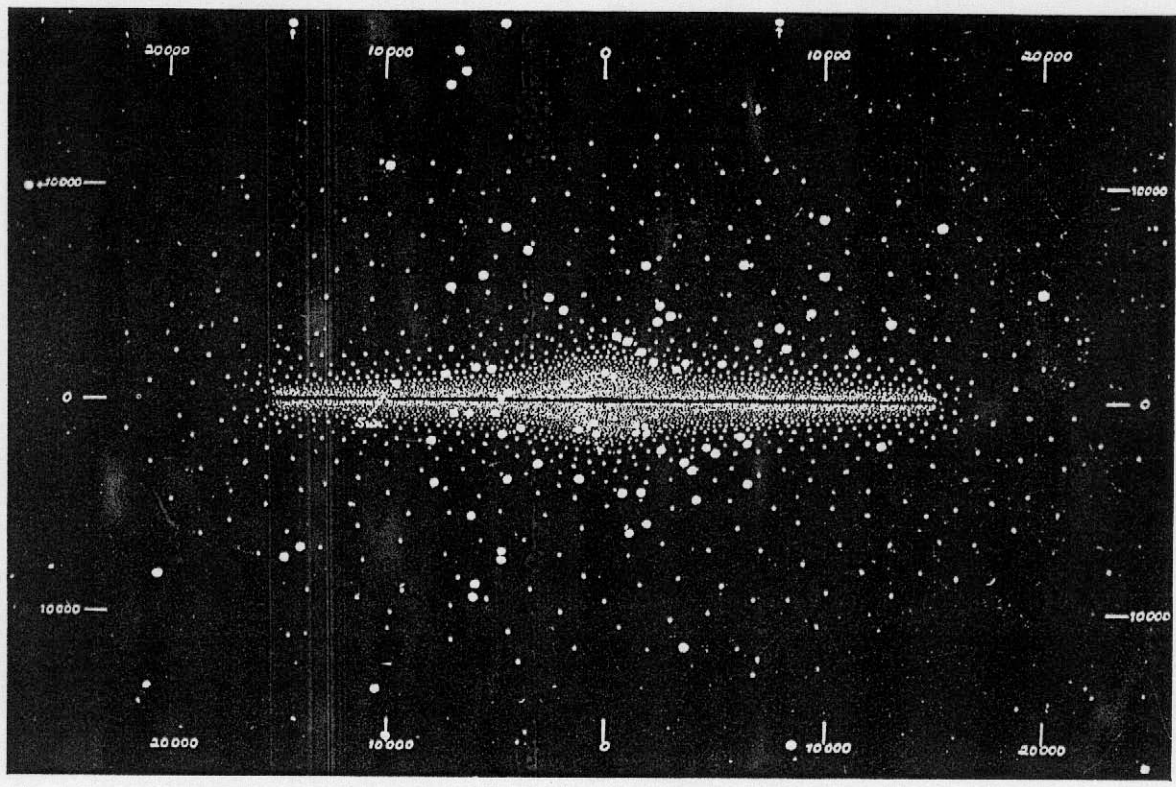


Fig. 9. Space distribution of open clusters, globular clusters, and the Magellanic Clouds.

In this figure the 93 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.



MODEL OF THE GALAXY

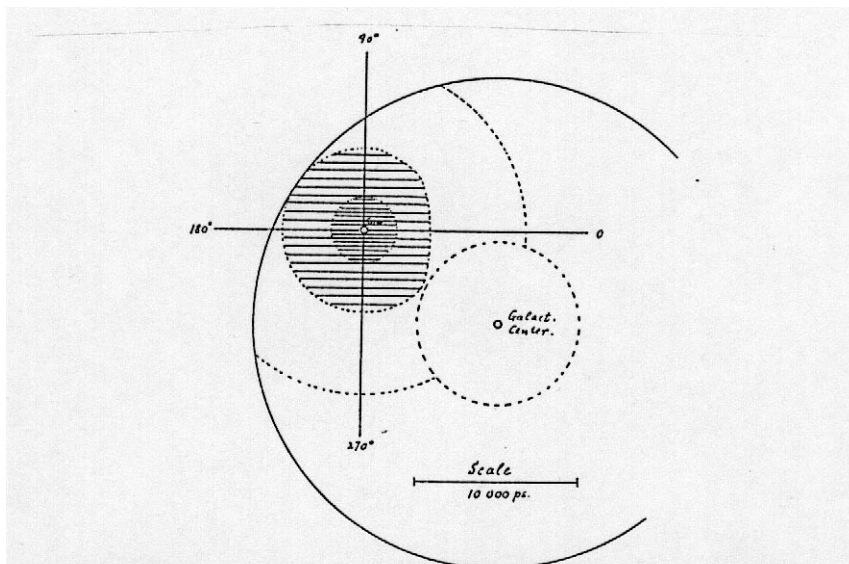


FIG. 3.—Distribution of known galactic star clusters in the projection on the galactic plane. Within the circle of dark shading the clusters are nearly uniformly distributed; in the ring of light shading they thin out rapidly. The large dotted circle drawn around the sun indicates the limit of 10,000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

CINQ PROBLEMES DANS LA CONSTRUCTION D'UN MODELE GALACTIQUE

1 Notre position dans la Galaxie

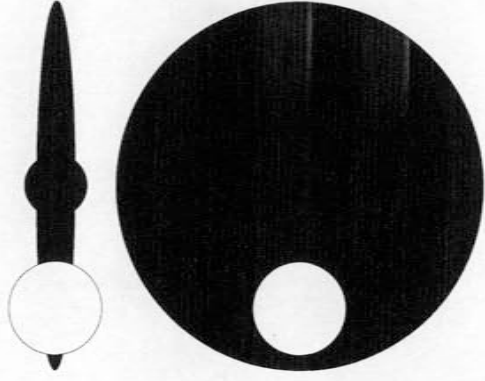
2 Le domaine électromagnétique

3 La détermination des distances sidérales

Méthodes	portées approximatives (a.l.)	1838 1900 XXème s.
parallaxes trigonométriques	100 (étoiles très proches)	galactique
parallaxes statistiques	1000 (étoiles proches)	galactique
parallaxes spectroscopiques	300'000 (diagramme HR)	galactique
parallaxes photométriques	600'000 (RR Lyrae)	galactique
	6'000'000 (Céphéïdes)	extra-galactique
	10'000'000 (Novae)	extra-galactique
	1'000'000'000 (Supernovae)	extra-galactique

4 L'analogie avec les "nébuleuses" (spirales)

5 L'extinction interstellaire



décroissance de la densité stellaire <----
héliocentrisme <----

QUATRE METHODES POUR CONSTRUIRE DES MODELES GALACTIQUES

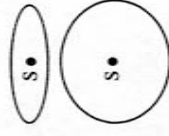
1780 - 1930

1 Observations + Analogies + Cosmogonies



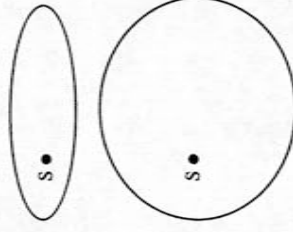
dès W. Herschel (> 1780)
modèles spiraux (> 1850)

2 Statistique stellaire



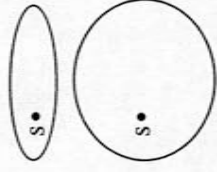
dès W. Herschel (> 1780)
modèles sphéroïdaux (quasi) héliocentriques

3 Distribution spatiale des amas globulaires



Shapley (> 1915)
modèle non héliocentrique
direction du centre : Sagittaire

4 Théories de la rotation galactique



Lindblad, Oort (> 1925)
modèle de Shapley
dimensions réduites

“PROFIL EPISTEMOLOGIQUE” DES ASTRONOMES

Empiristes			
		Idéalistes	
	radicaux	modérés	radicaux
1780-1820 XIXè ↓ 1900 ↓ 1930	John Herschel F.G.W. Struve Arago Faye Newcomb	Kapteyn Schwarzschild de Sitter Jeans	Humboldt Rosse Secchi Gill Hale See Shapley Eddington

spéculation = émission d'hypothèses non fondées sur l'observation

= opinions conjecturales (William Herschel)

hypothèses arbitraires (F.G.W. Struve)

hypothèses audacieuses (Hale et Shapley)

hypothèses de travail (Eddington)

rêves, imaginations, fantaisies (Charlier)

Exemples : hypothèse de Shapley

hypothèses de William Herschel