

# Mesure de la position du Soleil dans la Galaxie

## I Principe de la mesure.

Une **galaxie** est un ensemble de 200 milliards d'étoiles, d'immenses nuages de gaz qui sont en interaction gravitationnelle.

Il existe des millions de galaxies dans l'Univers et elles peuvent avoir des **formes** variées, qui ressemblent à des ellipsoïdes ou des **disques**.

Il peut exister une structure en spirale, plus ou moins prononcée.

Une galaxie proche de notre Galaxie est la **galaxie M31**, visible dans la constellation d'Andromède (**photo ci contre**).

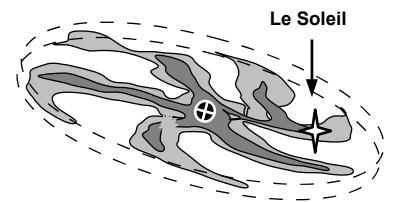


Galaxie d'Andromède M31

Le **Soleil** est une étoile d'une galaxie, notre Galaxie. Nous allons chercher où se situe le Soleil dans le plan galactique.

Il faut **répondre aux deux questions suivantes**:

- 1- à quelle distance du centre galactique se trouve le Soleil ?
- 2- quelle est l'épaisseur du disque galactique au niveau du Soleil ?

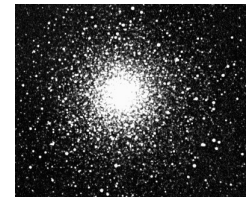


## II Mesure de la distance au Soleil du centre galactique.

### II.A Les amas globulaires.

On a découvert l'existence de **gros nuages d'étoiles** (plutôt vieilles) de **forme sphérique**, semblables à un essaim d'abeilles.

Sur la **photo** ci contre, c'est l'**amas M10**, du catalogue de Charles Messier (astronome du XVIIIème)

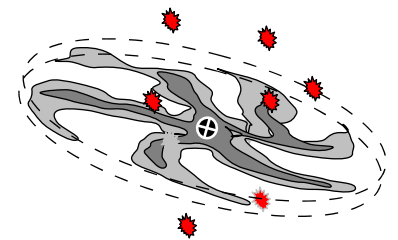


Amas globulaire M10

Autour de notre Galaxie, on observe **une centaine de ces amas globulaires**, et au début du XXème siècle, on a pu déterminer leur **distances par rapport au Soleil** et leur **position apparente** dans le ciel.

Harlow Shapley suppose alors que ces amas sont **statistiquement uniformément répartis autour de la Galaxie**. Donc, le centre de ce nuage d'amas globulaire est probablement très proche du centre de la Galaxie.

Si on est capable de **calculer la position du centre du nuage d'amas globulaires**, alors on aura une bonne approximation de la **position du centre de la Galaxie**.



### II.B Calcul du centre d'un nuage de points.

Vous savez calculer la **moyenne d'une série de notes** : vous ajoutez toutes les valeurs et divisez le résultat par le nombre de notes.

De la même façon, si j'ai un ensemble de valeurs  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , alors la valeur moyenne  $\langle x \rangle$  sera  $(x_1 + x_2 + \dots + x_N) / N$

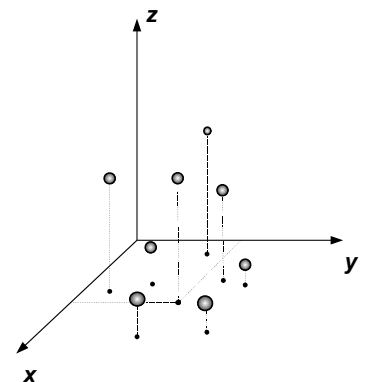
En **généralisant le résultat à 3 dimensions**, si j'ai un ensemble de points  $M_1, M_2, \dots, M_N$  de coordonnées  $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_N, y_N, z_N)$  alors **les coordonnées du centre C** du nuage seront

$(\langle x \rangle, \langle y \rangle, \langle z \rangle)$  avec :

$$\langle x \rangle = (x_1 + x_2 + \dots + x_N) / N$$

$$\langle y \rangle = (y_1 + y_2 + \dots + y_N) / N$$

$$\langle z \rangle = (z_1 + z_2 + \dots + z_N) / N$$



## II.C Calcul de la position du centre galactique.

En **annexe 1**, vous trouverez un extrait d'un catalogue d'amas globulaires. On y trouve le nom de l'amas, ses coordonnées équatoriales, sa distance au Soleil, et sa position en coordonnées (x,y,z) par rapport au Soleil.

Les distances sont exprimées en **kpc = kilo parsec**. Le parsec est une unité de distance en astronomie qui correspond à **1 pc = 3,26 année de lumière**

**1 pc = 3,26 année de lumière**

**Procédure de calcul de la distance du centre de la Galaxie (utiliser l'annexe 1):**

1. calculez la moyenne  $\langle x \rangle$  des positions x des amas globulaires
2. calculez la moyenne  $\langle y \rangle$  des positions y des amas globulaires
3. calculez la moyenne  $\langle z \rangle$  des positions z des amas globulaires
4. à partir de  $\langle x \rangle$ ,  $\langle y \rangle$  et  $\langle z \rangle$  calculez la distance du centre du nuage d'amas globulaires par rapport au centre de la Galaxie.
5. Sachant que le centre galactique dont la position a été mesurée par d'autres techniques, est estimé être à 28 000 année lumières du Soleil, calculez l'écart relatif entre votre valeur et cette valeur.

## III Mesure de l'épaisseur du disque galactique.

### III.A Principe de la méthode.

C'est une méthode initialement imaginée par **William Herschel**, astronome germano britannique du XVIII<sup>e</sup> siècle.

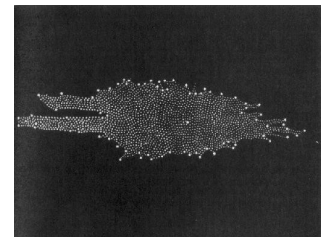


William Herschel

On constate la nuit, que les étoiles ne sont pas uniformément réparties dans le ciel, mais qu'une bande du ciel concentre énormément d'étoiles : la Voie Lactée.

C'est en fait le disque galactique, vu depuis l'intérieur.

On va donc compter le nombre d'étoiles visibles dans les différentes directions dans le ciel, pour estimer l'épaisseur de ce disque dans ces directions. Plus il y a d'étoiles visibles, plus le disque est épais dans la direction visée.



Dessin de Herschel

Herschel avait ainsi dessiné l'allure de notre Voie lactée, vue en coupe (voir le dessin ci contre).

La méthode a été reprise de façon plus précise par Kapteyn au début du XX<sup>e</sup> siècle.

### III.B Nombre d'étoiles visibles dans le ciel et profondeur du ciel.

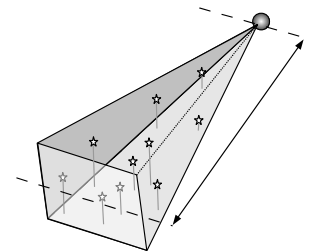
On observe une zone dans le ciel correspondant par exemple à un angle de vision de 5°.

On fait l'hypothèse que **les étoiles** sont **uniformément réparties dans l'espace**.

Le nombre N d'étoiles visibles dans une portion de sphère de rayon R va être proportionnel au volume V de la sphère et le volume d'une sphère est proportionnel au rayon R au cube.

Donc :

**le nombre d'étoiles visible N est proportionnel à R<sup>3</sup>.**



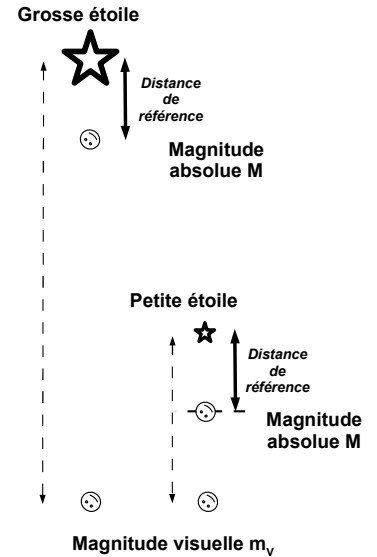
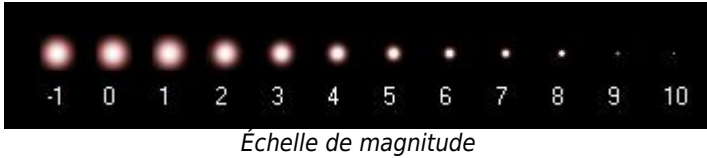
### III.C Magnitude, loi de Pogson.

Les étoiles brillent dans le ciel, plus ou moins intensément. Depuis le début de l'Astronomie, on a classé les étoiles en fonction de leur brillance apparente : la **magnitude visuelle de l'étoile**.

Une étoile brillante a une magnitude proche de 1

Une étoile faible a une magnitude très supérieure à 1

A l'œil nu, on voit jusqu'à la magnitude 6.



Mais les étoiles sont de taille différentes, donc si on se place toujours à la **même distance de chaque étoile**, certaines vont briller très intensément, d'autres seront faibles. On parle alors de **magnitude absolue**, et on compare alors l'éclat des étoiles en se plaçant toujours à **une même distance d'observation**.

La **loi de Pogson** permet de relier la **magnitude visuelle  $m$**  de l'étoile à sa **magnitude absolue  $M$**  et sa **distance depuis la Terre  $d$  (en pc)**.

$$m - M = 5 \times \log(d) - 5$$

ou encore

$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}}$$

Exemple de calcul:

une étoile de magnitude visuelle  $m=8$  et de magnitude absolue  $M=4,5$  se trouve à une distance

$$d = 10^{\frac{8 - 4,5 + 5}{5}} = 50 \text{ pc} = 160 \text{ a.l.}$$

**loi de Pogson:**

$$m - M = 5 \times \log(d) - 5$$

$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}}$$

$d$  en parsec

$m$  magnitude visuelle

$M$  magnitude absolue

### III.D Comptage d'étoiles dans des champs stellaires.

Le professeur vous distribue différentes cartes du ciel où le nombre d'étoiles visibles est variable dans un champ de vision de  $5^\circ \times 5^\circ$ . Une carte générale permet de repérer les zones cartographiées.

#### Procédure de calcul de l'épaisseur de la Galaxie au niveau du Soleil:

1. Pour votre carte, comptez le nombre d'étoiles visibles dans un champ de vision de  $5^\circ$  de côté. On note ce nombre  $N$ .

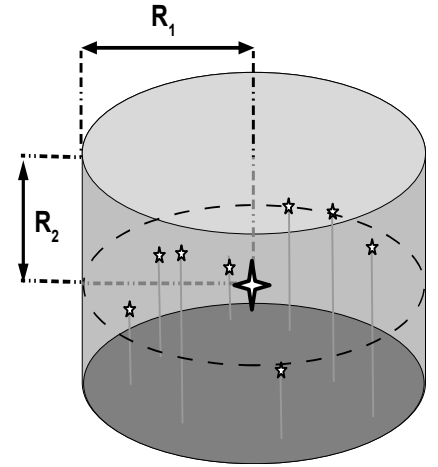
$$N = \text{étoiles}$$

2. Sur la carte, la magnitude limite est 12, c'est la magnitude visuelle  $m$  d'une étoile lointaine. A partir de la formule de Pogson, calculez la distance maximale correspondant à cette étoile, si on fait l'hypothèse que sa magnitude absolue  $M$  est 4,5.

### III.E Synthèse des résultats des comptages.

**Vous allez mettre en commun le résultat du comptage d'étoiles dans les différentes directions du ciel.**

1. Nombre d'étoiles dans un champ de  $5^\circ \times 5^\circ$  au niveau de la Voie Lactée :  
 $N_1 =$
2. Nombre d'étoiles dans un champ de  $5^\circ \times 5^\circ$  en dehors de la Voie Lactée :  
 $N_2 =$
3. Calculez le rapport  $N_1/N_2$
4. A partir de la question III.B, montrez que  $(R_1/R_2)^3 = N_1/N_2$ . Calculez ce rapport  $R_1/R_2$
5. Dessinez en respectant les proportions un rectangle de largeur  $2 \times R_1$  et de hauteur  $2 \times R_2$ . Ce rectangle est en fait une portion cylindrique du disque galactique au centre duquel se trouve notre Soleil.



### III.F Estimation de l'épaisseur du plan galactique.

Pour l'instant, nous n'avons que les proportions du volume de l'espace situé autour de notre Soleil et qui est rempli d'étoiles. Il faut mesurer les distances des différentes étoiles pour connaître les dimensions de ce volume.

Il existe plusieurs méthodes, développées depuis le XIXème siècle : des méthodes de triangulation (mesure de parallaxe) qui ne fonctionnent que pour les étoiles proches, mais aussi des méthodes spectroscopiques.

Une de ces méthodes utilise la classification spectrale des étoiles : c'est le diagramme de Hertzsprung-Russell (Annexe 2) qui ont découvert qu'il y a une relation simple entre la magnitude absolue  $M$  de l'étoile et sa classification spectrale (c-à-d en simplifiant, la température de l'étoile)

On mesure l'indice B-V de l'étoile (son décalage vers le rouge ou le bleu), on déduit grâce au diagramme la magnitude absolue de l'étoile  $M$ , et enfin, connaissant sa magnitude visuelle  $m$ , grâce à la loi de Pogson, on calcule sa distance en parsec.

#### Exemple de Calcul:

Dans le tableau ci dessous, on constate que Alkaid a un indice de couleur B-V de -0,19. En utilisant le diagramme HR (annexe 2), on lit que la magnitude absolue de Alkaid est d'environ  $M = -1,5$

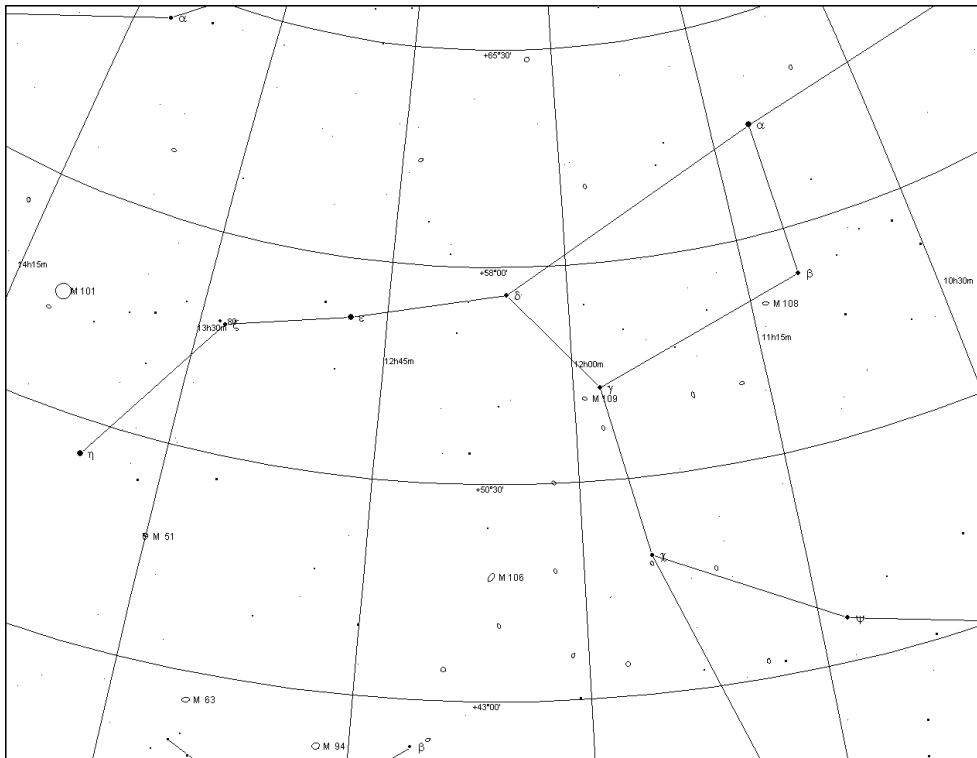
On utilise ensuite la loi de Pogson  $d = 10^{\frac{1,86 - (-1,5) + 5}{5}} = 59 pc = 150 a.l.$

Une valeur plus précise est 120 a.l. L'écart est important mais cependant, en astronomie, il est difficile d'avoir une bonne précision sur les mesures de distance.

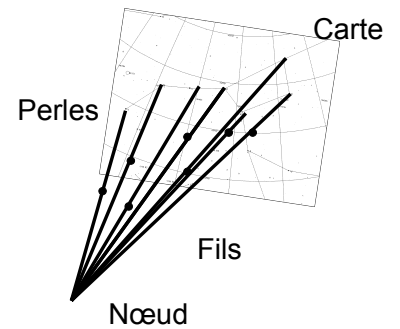
Étoile	Magnitude visuelle	Indice B-V	Distance estimée avec le diagramme H.R.	Distance approchée (a.l.)
ALKAID $\eta$	1.86	-0.19		110
MIZAR $\zeta$	2.27	0.02		82
ALIOTH $\epsilon$	1.77	-0.02		82
MEGREZ $\delta$	3.31	0.08		90
DUBHE $\alpha$	1.79	1.07		138
MERAK $\beta$	2.37	-0.02		85
PHAD $\gamma$	2.44	0.00		89

Utiliser le tableau de valeurs et l'exemple de calcul ci dessus.

1. Grâce au diagramme HR donné en annexe 2, calculez les distances des différentes étoiles de la Grande Ourse
2. Fabriquer une carte en 3D de la constellation de la Grande ourse.

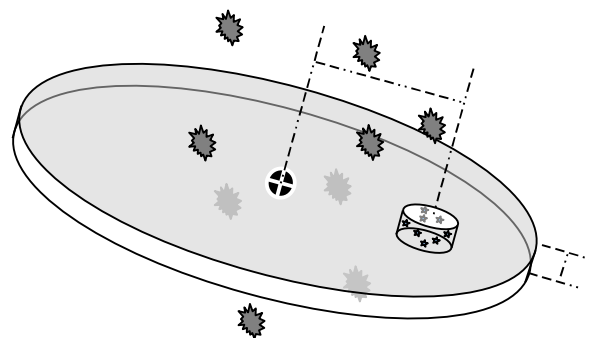
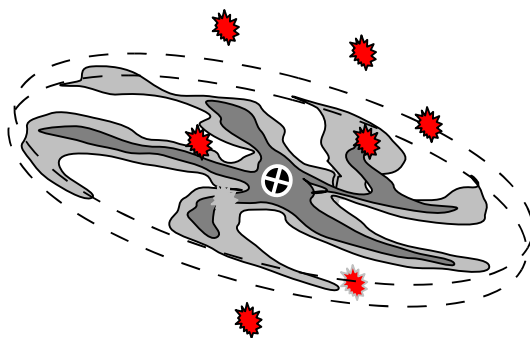


Carte de la Grande Ourse



#### IV Conclusion : position du Soleil dans la Galaxie.

Complétons les valeurs sur le schéma de droite.



#### V Références

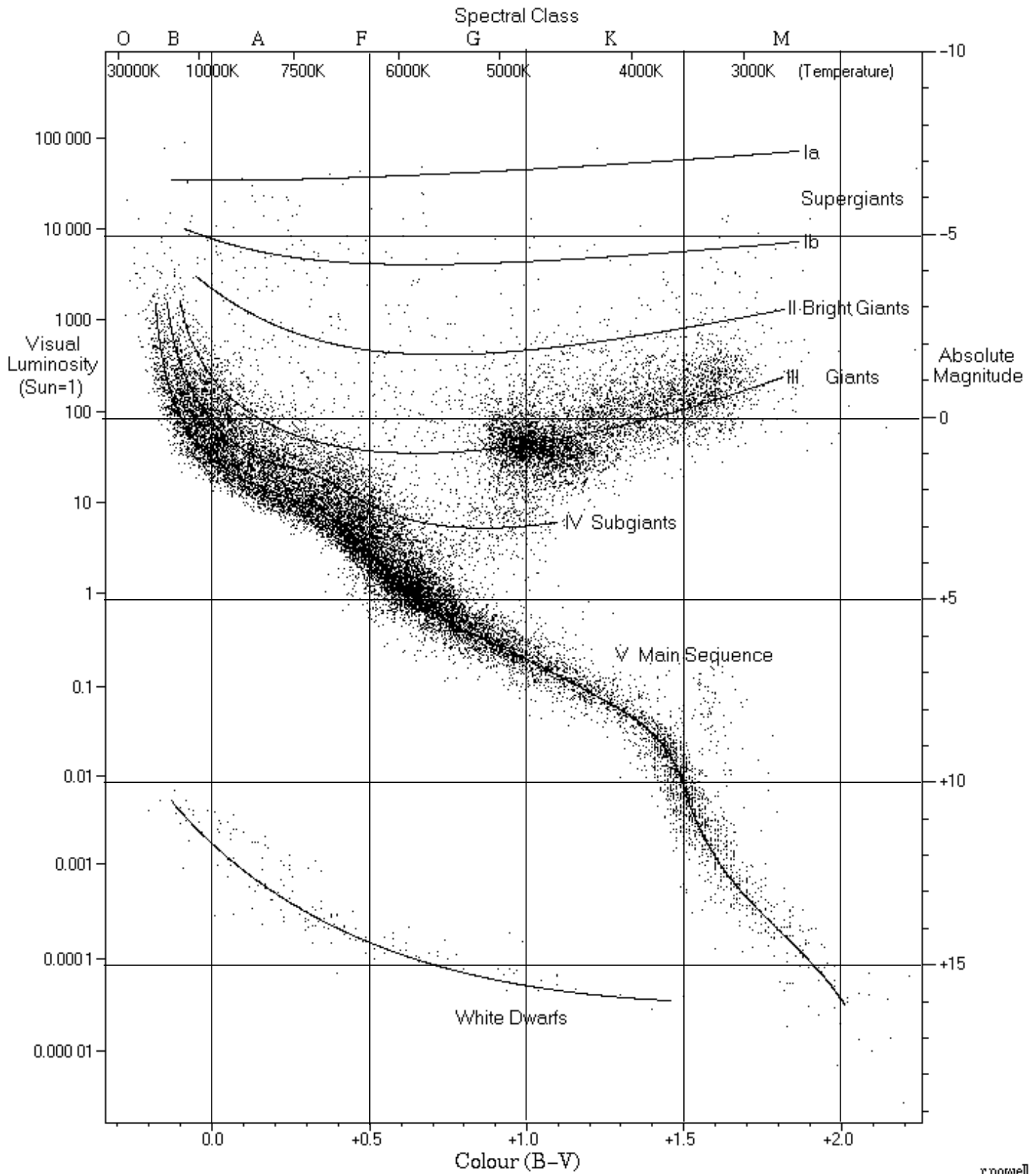
- Article original de Kapteyn : <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1922ApJ....55..302K/0000302.000.html>
- Centre de Données astronomiques de Strasbourg : <http://cdsweb.u-strasbg.fr/CDS-f.gml>
- Photos et dessins de la Galaxie : <http://burro.cwru.edu/Academics/Astr222/Galaxy/Intro/intro.html>
- Photos d'objets de Messier : [http://messier.obspm.fr/Messier\\_f.html](http://messier.obspm.fr/Messier_f.html)
- Logiciel de cartographie : <http://www.astrosurf.com/astrocpc/cartes/index.html>

**Annexe 1 : catalogue ARP 1965 Globular Cluster (extrait)**  
**Source: Centre de Données Astronomique de Strasbourg.**

Full	_RAJ2000 "h:m:s"	_DEJ2000 "d:m:s"	name	r kpc	x kpc	y kpc	z kpc
1	00 24.1	-72 04	47 Tuc	5.0	2.1	-2.9	-3.5
2	00 52.6	-26 36		14.8	-0.2	0.0	-14.8
3	01 02.3	-70 51	delta 62	9.7	3.5	-5.7	-7.0
4	03 12.3	-55 14					
5	03 33.0	+79 38		87.1	-52.6	62.8	29.8
6	04 46.3	+31 28					
7	04 44.9	-84 00					
8	05 14.0	-40 02	delta 508				
9	05 24.3	-24 31	M79	16.5	-9.7	-10.7	-8.0
10	06 49.0	-36 00					
11	07 38.2	+38 53		83.2	-74.8	-1.3	36.5
12	09 11.9	-64 51		9.1	2.0	-8.7	1.8
13	10 05.6	+00 03		100.0	-36.0	-65.0	66.9
14	10 17.6	-46 24	delta 445				
15	11 29.1	-29 32		100.0	-29.0	-11.6	95.1
16	12 10.1	+18 32		18.7	-1.4	-4.1	18.2
17	12 25.9	-72 41					
18	12 39.5	-26 45	M68	14.0	5.4	-9.8	8.4
19	12 59.4	-70 52					
20	13 12.9	+18 10	M53	20.0	3.1	-1.5	19.7
21	13 16.3	+17 41		16.4	1.3	-2.1	16.1
22	13 26.8	-47 19	omega Cen	5.2	3.2	-3.9	1.3
23	13 42.2	+28 23	M3	10.6	1.6	1.3	10.4
24	13 46.2	-51 22	delta 388				
25	14 05.4	+28 32		21.3	4.6	4.2	20.4
26	14 29.6	-05 58		26.8	16.7	-5.7	20.2
27	14 39.6	-26 32		31.6	23.9	13.2	15.9
28	15 00.9	-82 14					
29	15 04.0	-33 05					
30	15 16.1	-00 06		35.2	24.9	0.4	24.9
31	15 17.2	-21 01		14.5	12.0	-3.6	7.3
32	15 18.5	+02 05	M5	8.1	5.5	0.7	5.9
33	15 28.1	-50 39					
34	15 35.5	-50 40					
35	15 46.1	-37 46	delta 552				
36	16 11.1	+14 54		83.2	54.0	30.0	55.6
37	16 17.1	-22 59	M80	12.6	11.9	-1.1	4.1
38	16 25.7	-72 13					
39	16 23.7	-26 31	M4	4.3	4.1	-0.6	1.2
40	16 27.7	-38 51					
41	16 27.3	-26 03		16.9	16.2	-2.2	4.4
42	16 32.5	-13 03		17.1	15.7	0.7	6.6
43	16 41.7	+36 27	M13	6.3	2.4	4.1	4.1
44	16 47.2	-01 57	M12	7.4	6.4	1.6	3.3
45	16 47.0	+47 32		24.7	5.6	18.0	15.9
46	16 53.4	-22 11		19.4	18.9	-0.8	4.4
47	16 57.1	-04 07	M10	6.2	5.5	1.6	2.4
48	17 01.3	-30 07	M62	11.7	11.4	-1.7	1.5
49	17 02.6	-26 15	M19	7.1	7.0	-0.4	1.2
50	17 04.6	-24 45		16.3	16.0	-0.5	2.8
51	17 05.1	-22 42		17.0	16.7	0.0	3.3
52	17 10.2	-26 34		9.8	9.7	-0.5	1.4
53	17 14.6	-29 27					
54	17 16.5	-28 08					
55	17 18.0	-23 45					
56	17 19.1	-18 31	M9	12.8	12.6	1.1	2.2
57	17 17.1	+43 09	M92	7.9	2.4	6.0	4.5
58	17 21.2	-19 35					
59	17 25.4	-48 29					
60	17 24.0	-26 22					
61	17 23.6	-17 49		19.1	18.7	2.0	3.3
62	17 28.1	-29 59					

63	17	31.8	-67	03	delta 225				
64	17	27.8	-05	04		17.4	16.0	5.0	4.8
65	17	35.4	-39	04					
66	17	36.3	-44	45					
67	17	40.9	-53	41	delta 366	2.9	2.7	-1.1	-0.6
68	17	38.7	-23	55					
69	17	37.6	-03	17	M14	14.5	13.1	5.0	3.5
70	17	43.7	-26	13					
71	17	44.9	+03	11					
72	17	48.9	-20	22					
73	17	50.2	-37	03					
74	17	51.3	-34	38					
75	17	59.1	-44	13					
76	18	01.8	-08	57					
77	18	03.6	-30	02					
78	18	04.8	-30	04					
79	18	03.9	-00	18		15.6	13.8	6.9	2.7
80	18	04.8	-07	35					
81	18	08.0	-43	44	delta 473	4.0	3.9	-0.7	-0.7
82	18	07.4	-25	01					
83	18	09.4	-25	55					
84	18	10.3	-31	46					
85	18	10.7	-07	13		25.1	23.1	9.3	2.6
86	18	13.7	-31	49					
87	18	18.6	-52	13	delta 376				
88	18	23.7	-30	21					
89	18	24.6	-24	52	M28	4.8	4.7	-0.6	-0.5
90	18	31.4	-32	21	M69				
91	18	31.0	-25	30		15.2	14.9	2.2	-2.1
92	18	31.4	-23	28					
93	18	35.8	-33	00					
94	18	36.4	-23	55	M22	3.0	2.9	0.6	-0.4
95	18	41.5	-19	49		47.9	11.5	46.1	-5.8
96	18	43.3	-32	18	M70				
97	18	53.0	-08	43		5.7	5.1	2.5	-0.5
98	18	55.2	-30	28	M54				
99	18	55.1	-22	43		14.7	14.1	3.3	-2.8
100	18	59.6	-36	38	delta 573	7.4	7.0	0.0	-2.3
101	19	05.1	+01	53					
102	19	10.8	-59	59	delta 295	5.3	4.3	-1.9	-2.3
103	19	11.1	+01	02		8.4	6.8	4.8	-0.6
104	19	16.6	+30	10	M56	10.5	4.8	9.1	1.7
105	19	18.2	+18	34		8.3	5.0	6.6	0.4
106	19	28.8	-30	21					
107	19	40.1	-30	56	M55	6.0	5.4	1.2	-2.4
108	19	45.3	-08	02		28.8	23.3	14.7	-7.9
109	19	53.7	+18	47	M71	2.6	1.4	2.1	-0.2
110	20	06.1	-21	55	M75	35.1	29.6	10.8	-15.3
111	20	34.2	+07	24		18.3	10.6	13.6	-6.0
112	20	53.4	-12	33	M72	21.1	14.5	10.2	-11.4
113	21	01.4	+16	12		39.8	16.5	33.8	-13.0
114	21	30.0	+12	10	M15	10.5	4.0	8.4	-4.8
115	21	33.5	-00	50	M2	12.3	5.8	8.1	-7.2
116	21	40.3	-23	11	M30	13.3	8.1	4.1	-9.8
117	21	46.5	-21	14		38.0	21.8	13.1	-28.2
118	23	06.7	+12	44		100.0	3.8	73.0	-68.2
119	23	08.3	-15	38		34.7	9.5	12.6	-30.9

**Annexe 2 : diagramme de Hertzsprung-Russell**  
 Source: <http://www.atlasoftheuniverse.com/hr.html>



r powell