

AGE DE L'UNIVERS

La loi de Hubble-Lemaître s'écrit :

Vitesse de fuite apparente en km/s = Constante \times Distance en Mégaparsec

1 Mégaparsec = $3,086 \cdot 10^{22}$ m

On voit que la constante a la dimension de l'inverse d'un temps.

Si on parvient à mesurer la distance et la vitesse d'une galaxie lointaine, on peut calculer H.

Le calcul de $1/H$ (fait en convertissant les Mpc en m et le km en m) conduit à un temps extrêmement long, qu'on interprète¹ comme l'âge de l'Univers. On trouve que $1000/H$ donne à peu près un temps en milliards d'années.

Comment trouver la valeur de H ?

Application avec la base de données HYPERLEDA.

Connectez-vous sur cette base de données HYPERLEDA avec votre navigateur préféré, à l'adresse suivante : <http://leda.univ-lyon1.fr/>

Pour sélectionner les galaxies de même vitesse de rotation que M31 (Elles ont la même luminosité absolue que celle de M31 d'après la relation de Tully-Fisher) nous utiliserons la condition de sélection : $\text{abs}(\log(v_{\text{rot}})-2.389)<0.01$

Nous pourrions aussi mettre une limite sur la vitesse radiale pour ne pas prendre des objets trop proches (loi de Hubble moins stable) ou trop distants (biais statistiques de "Malmquist");

La requête en mode *SQL search* est alors :

```
SELECT  
pgc, objname, vvir, modbest
```

(sélection du numéro d'identification, du nom courant, de la vitesse de fuite corrigée de perturbations locales et le meilleur module de distance selon les diverses méthodes existantes.)

```
WHERE  
abs(log(vrot)-2.389)<0.01 and v>1500 and v<4000
```

(condition de la sélection)

On obtient le fichier joint.

À noter que le module de distance est une mesure logarithmique de la distance selon l'expression :

$$\text{Module de distance} = 5 \log_{10}(\text{Distance en Mpc}) + 25$$

ou

$$\text{Distance en Mpc} = 10^{0.2(\text{Module de distance}-25)}$$

¹ Voir quelques explications à la fin du texte.

Pour chaque objet on peut calculer le module de distance, donc la distance, et déduire finalement la constante de Hubble $v_{vir}/distance$. La constante de Hubble moyenne trouvée varie selon la valeur à laquelle on coupe les vitesses radiales. Cela provient du biais de Malmquist qui tend à faire sous-estimer les grandes distances.

Dans la base de données, un exemple de calcul direct de la constante de Hubble H est donné dans le mode SQL search. Les explications sur la méthode sont accessibles dans cet exemple.

On trouve environ $H=65$ (km/s)/Mpc, soit un âge de l'univers de $1000/65= 15$ milliards d'années.

Loi de Hubble. et l'âge de l'univers

La loi de Hubble obéit à la relation simple :

$$V = H.r$$

Une interprétation newtonienne consiste à dire que nous sommes au centre de l'Univers et qu'à l'origine toutes les galaxies étaient au centre. Elles se sont éloignées de nous avec le temps, chacune avec une vitesse propre. Plus la vitesse était grande, plus la galaxie correspondante est loin de nous, ce que semble traduire la loi de Hubble. Mais le problème est que nous serions au centre de l'univers, ce qui est difficilement acceptable.

L'explication standard consiste à dire que l'univers est soumis à une loi d'échelle qui fait que l'univers grossit avec le temps (image du ballon qui se gonfle et dont la surface est l'univers – l'extérieur est le futur, l'intérieur est le passé).

H est la constante de Hubble. Elle se mesure en (km/s)/Mpc. C'est en fait l'inverse d'un temps. L'inverse de la constante de Hubble peut nous donner l'ordre de grandeur de l'âge de l'univers. Essayons de le comprendre. Pour cela nous supposons que l'espace temps est la surface d'une sphère. La distance entre deux galaxies, exprimée en fonction du rayon de la sphère, est simplement : $r = R.\alpha$, où α est l'angle au centre découpant la longueur r . Si le rayon varie en fonction du temps, la distance va varier en fonction du temps. Calculons la vitesse à laquelle les deux galaxies s'éloignent l'une de l'autre :

$$V = \frac{dr}{dt} = \frac{d(R\alpha)}{dt} = \alpha \frac{dR}{dt}$$

Remplaçons α par r/R et écrivons, comme il est de coutume la dérivée de R par rapport au temps par \dot{R} . On trouve alors :

$$V = \frac{\dot{R}}{R}.r, \text{ qui est l'expression de la loi de Hubble, dans laquelle } H = \frac{\dot{R}}{R}.$$

Il faut évaluer \dot{R} en fonction du temps. La relation la plus simple que l'on puisse imaginer pour la variation de R est une loi linéaire : $R = a.t + b$. Si on impose que le rayon de l'univers soit nul à l'origine du temps. Cette condition donne $b=0$. Donc $R=a.t$. On peut calculer $H = \frac{\dot{R}}{R} = \frac{1}{t}$.

On voit que la valeur de H donne le temps écoulé depuis l'origine, c'est ce qu'on définira comme l'âge de l'univers (temps de Hubble).

D'autres lois $R=f(t)$ peuvent être envisagées, pour d'autres modèles d'univers.

#pgc	NOM	VVIR (km/s)	MODULE DE DISTANCE
56627	IC4584	3474.1	33.515
16495	NGC1728	3542.7	33.565
20285	ESO491-020	2628.4	33.209
22127	UGC04057	4064.8	33.866
25886	PGC025886	1713.7	32.356
26561	IC2469	1454.8	31.918
26849	UGC05028	4103	33.888
29059	NGC3066	2350	32.661
31088	IC2588	3351.6	33.445
31335	NGC3366	2676	33.026
31787	ESO264-033	2959.7	33.159
31885	ESO376-011	2955.3	33.159
35869	NGC3735	2957.8	32.98
42476	NGC4602	2566	32.679
43426	NGC4750	1902.2	32.209
44847	NGC4902	2625.3	32.907
45146	PGC045146	3239	33.358
47635	ESO324-033	3472.3	33.515
50457	UGC09046	2371.2	32.698
56145	NGC6000	2182.3	32.563
64003	UGC11508	4123	33.888
65010	NGC6949	3053.9	32.737
86597	PGC086597	4037	33.845
87389	PGC087389	3760.7	33.686
97256	PGC097256	3448.5	33.515
16861	UGC03258	2671.4	32.94
39328	NGC4224	2659.2	33.407
42168	NGC4579	1622.5	31.527
38573	NGC4131	3874.1	33.755
63081	IC4845	3763.1	33.686
21033	NGC2336	2449.6	32.586
62314	NGC6701	4280.7	33.972
70252	NGC7450	3134.4	33.302
17196	NGC1889	2281.1	32.623
54428	NGC5899	2870	33.133
31154	ESO436-034	3464.4	33.908
36918	NGC3904	1438.5	32.166
40023	ESO380-019	2807.3	33.033
61536	NGC6574	2501.3	32.883
34641	NGC3619	1775.8	32.067
18453	NGC2179	2543.7	32.839
34028	NGC3544	3623.3	33.614
64980	NGC6925	2727.4	32.616
47394	NGC5170	1495.6	32.206
30308	NGC3223	2707.1	32.783
10048	NGC1024	3474.1	33.276
18893	UGC03457	2580.5	32.873
24381	NGC2628	3634.3	33.614
28887	PGC028887	2821.9	33.068
51965	NGC5675	4226.5	33.951

Remerciements : Nous avons fait usage de la base de données Hyperleda (<http://leda.univ-lyon1.fr>)