

EMOTIONS COSMIQUES

ULB - 21 février 2019

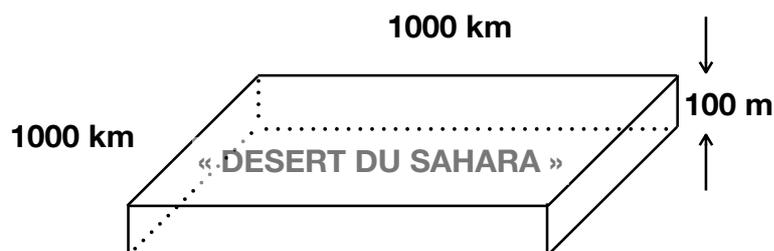
PRELUDE

On estime que notre Univers contient entre 10^{23} et 10^{24} étoiles

$10^{23} = 100\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ c'est beaucoup...

Comparons ce chiffre avec une estimation
du nombre de grains de sables dans le désert du Sahara

Il y a, disons, entre 1 et 10 grains par mm^3 (millimètre cube)



$$1000\ \text{km} \times 1000\ \text{km} \times 100\ \text{m} = 10^{23}\ \text{mm}^3$$



Estimez le nombre de grains de sable dans une poignée de main

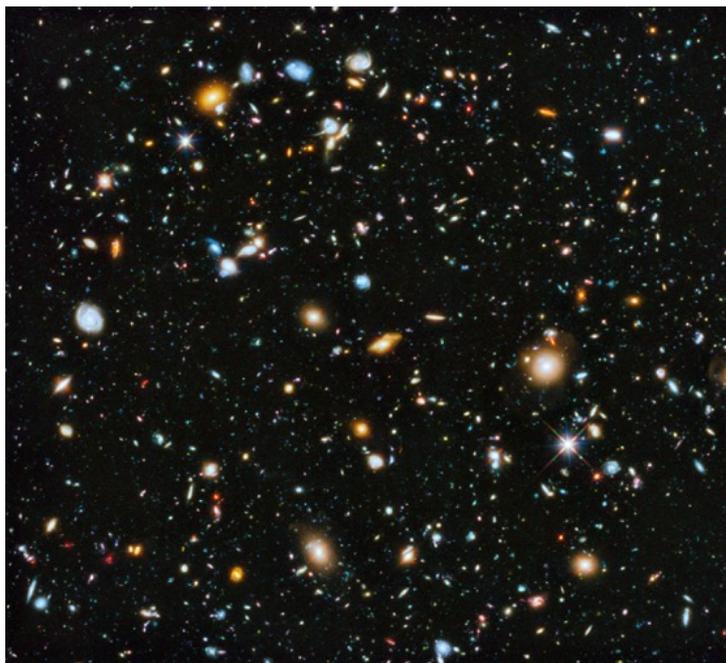
Les étoiles se regroupent en îlots d'étoiles appelées GALAXIES

GALAXIE ANDROMEDE (M31)



Diamètre \approx 25 kpc (kiloparsec)
Distance \approx 800 kpc (2,5 millions années-lumière)
Environ 10^{11} étoiles (cent milliards étoiles)

Notre Univers contient des centaines de milliards de galaxies



vue du ciel profond par le télescope Hubble
(chacune des taches lumineuses est une galaxie
, sauf une. Laquelle?)

D'où l'estimation d'environ 10^{23} étoiles

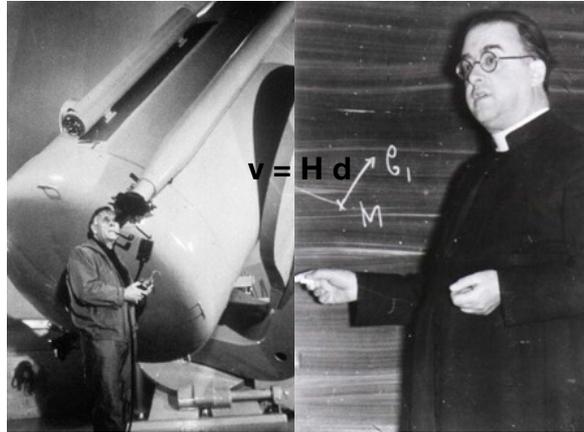
OBJECTIF

On a découvert au siècle passé que les galaxies s'éloignent de nous à une vitesse (v) d'autant plus grande qu'elles sont à une grande distance (d)

Autrement dit $v = H \times d$. On appelle ça la Loi de Hubble-Lemaître



Edwin Hubble



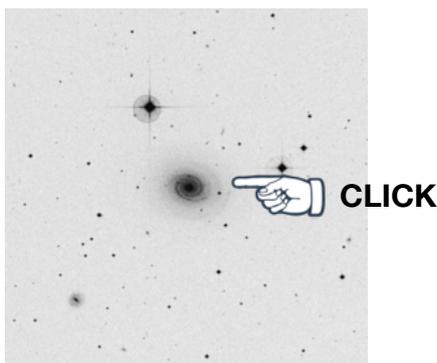
Georges Lemaître

Nous voulons vérifier la loi de Hubble-Lemaître !

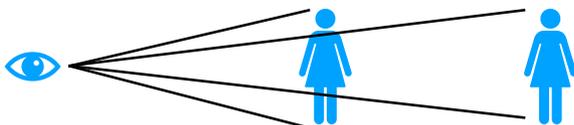
Votre mission (si vous l'acceptez) sera de déterminer la distance (d) et la vitesse (v) de quelques galaxies

VOS DONNEES

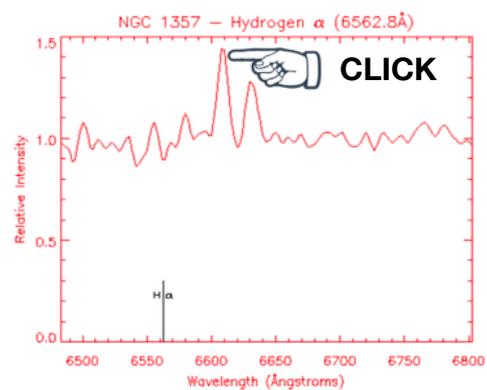
Image (inversée) de la galaxie NGC1357



**distance à partir de la
taille apparente**

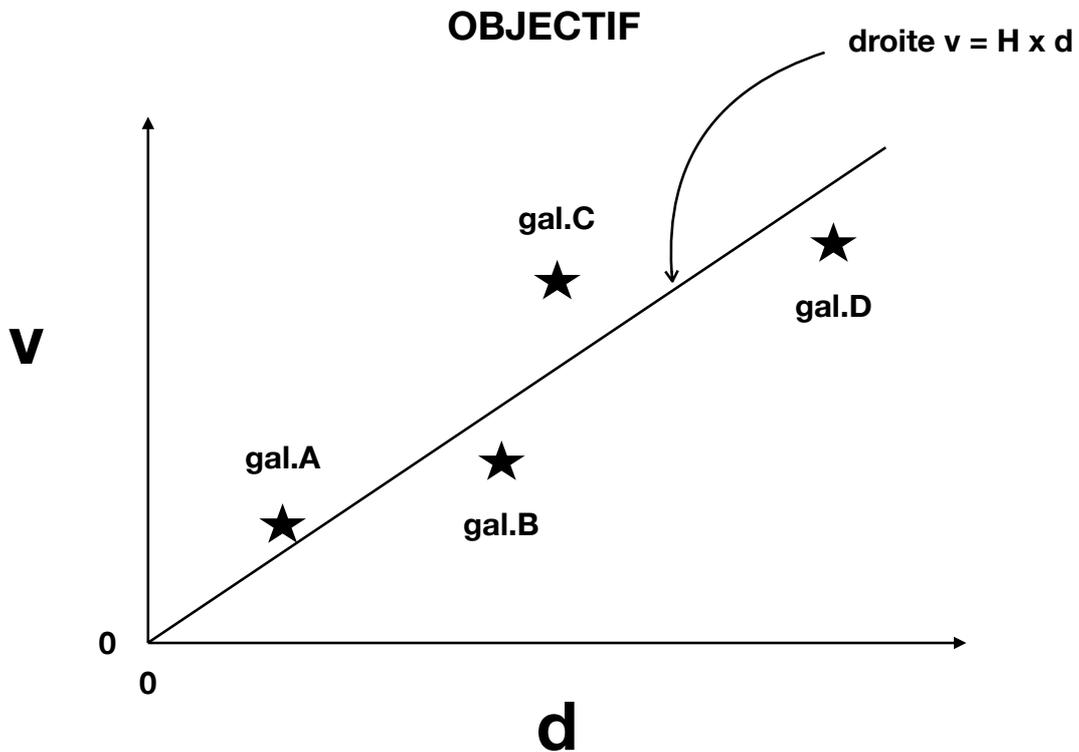


Spectre de la galaxie NGC1357



**vitesse à partir de
l'effet Doppler**





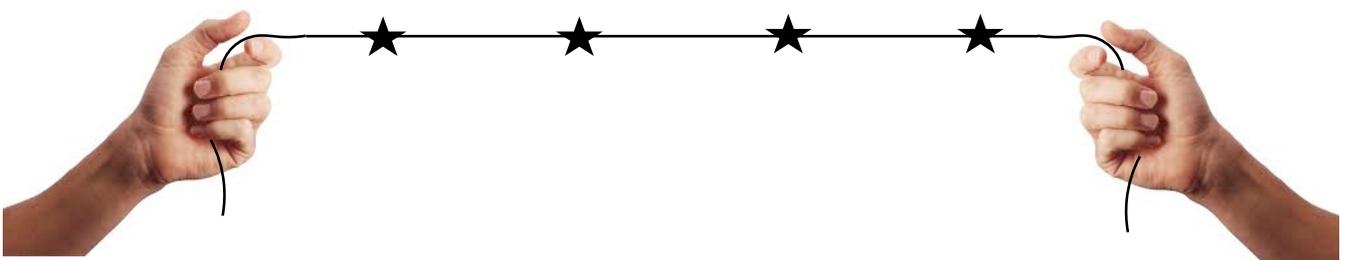
Nos mesures sont entachées d'erreurs, mais si tout va bien, nous devrions observer une loi de proportion $V = H \times d$

INTERPRETATION ?

Fait : Les galaxies s'éloignent de nous à une vitesse proportionnelle à leur distance

Interprétation : Les galaxies s'éloignent l'une de l'autre parce que

L'Univers est en **expansion!**

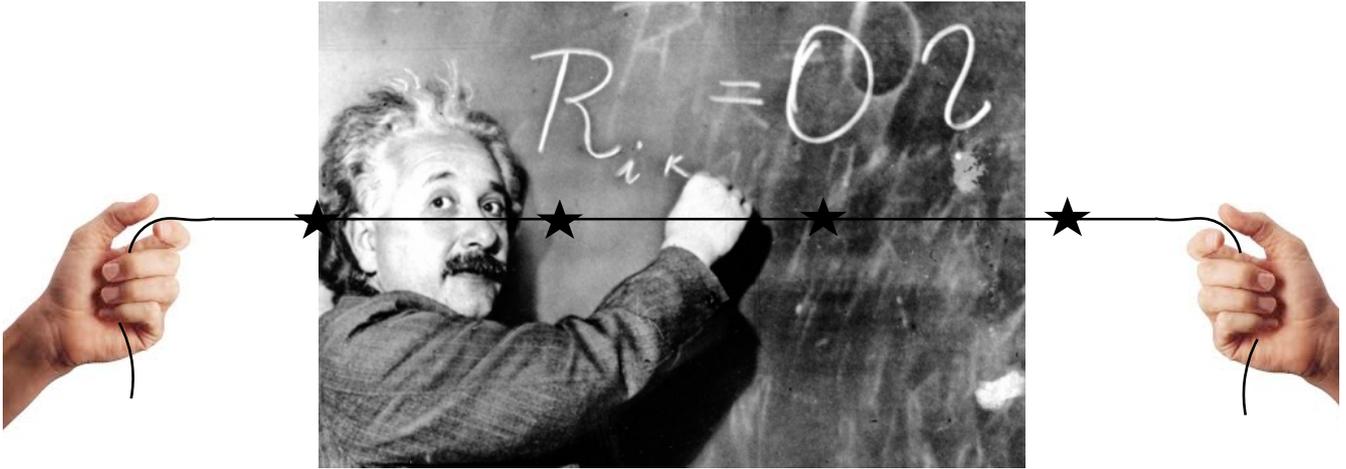


INTERPRETATION ?

Fait : Les galaxies s'éloignent de nous à une vitesse proportionnelle à leur distance

Interprétation : Les galaxies s'éloignent l'une de l'autre parce que

L'Univers est en **expansion!**



INTERPRETATION ?

Fait : Les galaxies s'éloignent de nous à une vitesse proportionnelle à leur distance

Interprétation : Les galaxies s'éloignent l'une de l'autre parce que

Donc, les galaxies étaient plus proches avant...

Dans la loi $v = H \times d$

H est la pente de la droite. On appelle ce nombre la constante de Hubble-Lemaître

H à la dimension de v/d . Soit l'inverse d'un temps...

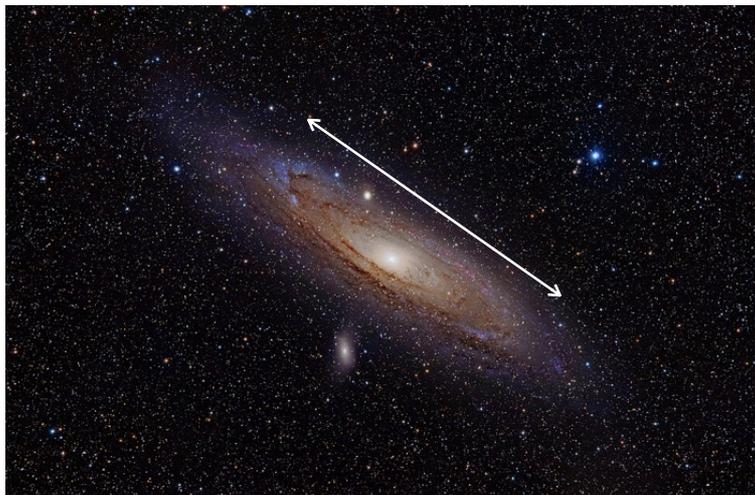
$$\frac{1}{H} = \text{temps qu'il a fallu pour que les galaxies s'éloignent}$$
$$= \text{« âge de l'Univers »}$$

APPENDICES

Comment déterminer les distances et les vitesses et remarques diverses concernant les unités

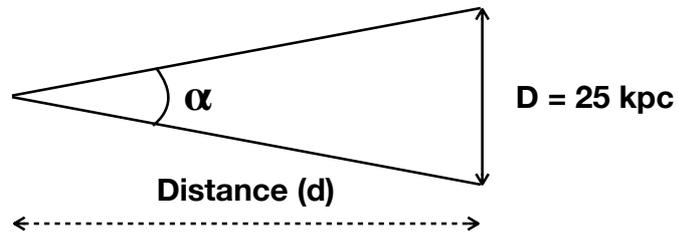
COMMENT DETERMINER LES DISTANCES?

Pour déterminer la distance d'une galaxie on fait l'hypothèse qu'elle a la même taille que la galaxie Andromède (M31 ou NGC224)



Diamètre \approx 25 kpc (kiloparsec)
Distance \approx 800 kpc (2,5 millions années-lumière)
Environ 10^{11} étoiles (cent milliards étoiles)

Pour déterminer la distance (d), on utilise la taille angulaire (α en milliradians)



La relation entre le diamètre D, la distance angulaire α et la distance d est

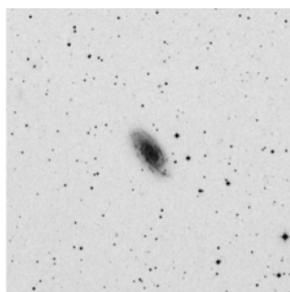
$$d \approx \frac{D}{\alpha}$$

ou

$$d \text{ (en Mpc)} = \frac{25}{\alpha \text{ (en mrad)}}$$

REMARQUE 1

Le telescope virtuel donne la taille angulaire (*angular size*) de la galaxie en milliradians



The angular size (in milliradians) is 0.936

un radian équivaut à $180^\circ/\pi$ avec $\pi = 3.1416\dots$ soit environ 57°

un milliradian = un millièème de radian

Les tailles angulaires considérées sont des petits nombres, de sorte que

$$\tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$$

REMARQUE 2

Les astrophysiciens utilisent diverses unités de distance

Les distances considérées sont très grandes

Le mètre, voire le km, ne sont pas très utiles

Une unité utile est l'année-lumière

C'est la distance parcourue par la lumière en un an

Cela vaut environ 10^{16} mètres mais bon...

Vous voyez la Lune telle qu'elle était il y a une seconde, le Soleil il y a 8 minutes et nos galaxies telles qu'elles étaient il y a des centaines de millions d'années (à cette époque la Terre était peuplée de dinosaures)...

Un parsec (une autre unité de distance) vaut 3,26 années-lumière

1 Mpc = 1 million de parsec

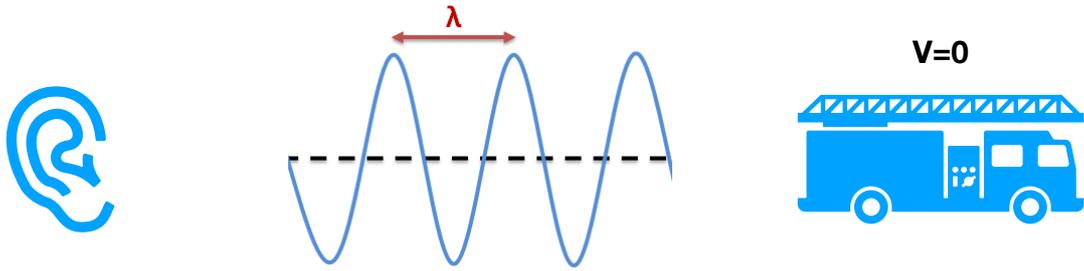
COMMENT DETERMINER LES VITESSES ?

Pour déterminer la vitesse d'une galaxie on utilise les faits suivants:

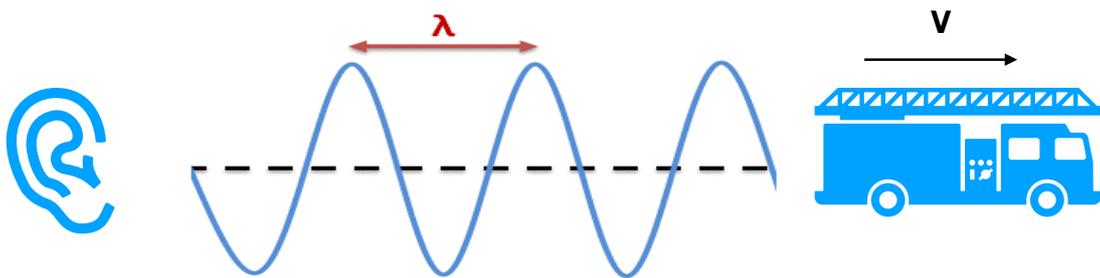
- 1. La lumière est une onde**
- 2. Les ondes émises par un objet en mouvement sont affectées par l'effet Doppler**
- 3. Les étoiles contiennent de l'hydrogène (H)**
- 4. L'hydrogène a un spectre caractéristique (raie $H\alpha$)**

1. ONDES ET EFFETS DOPPLER

Voici une onde périodique. La distance entre deux maximum est la longueur d'onde

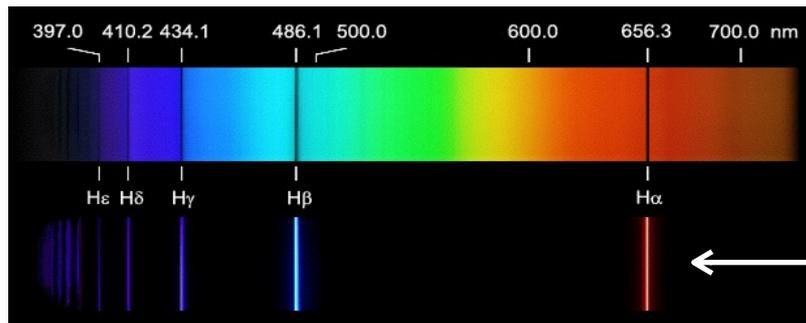


Lorsque la source s'éloigne (vitesse V), la longueur d'onde perçue est plus grande

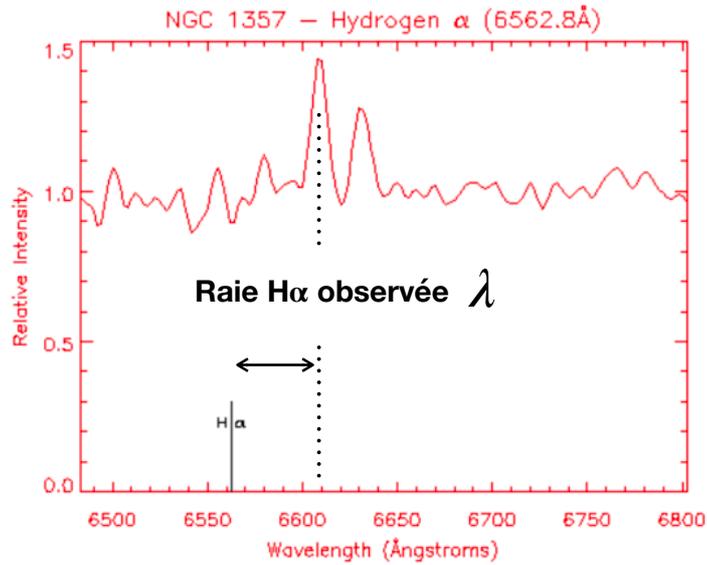


2. SPECTRE DE L'HYDROGENE

Longueur d'onde (nm)



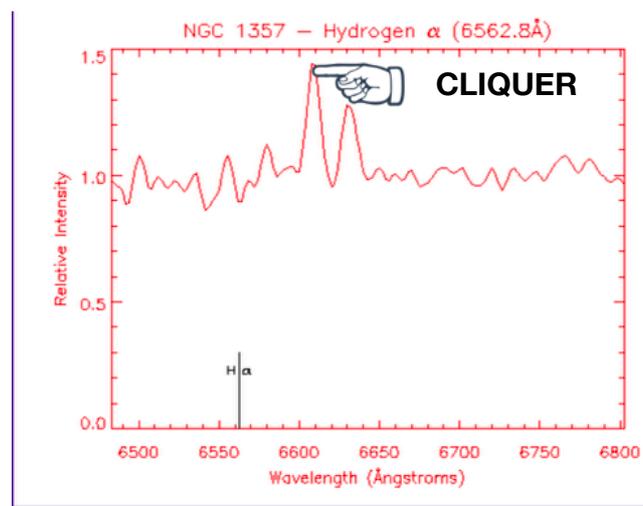
VITESSE D'UNE GALAXIE A PARTIR DU SPECTRE HYDROGENE



$$V = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times c = \frac{\lambda - 6563}{6563} \times 300.000 \text{ km/s}$$

REMARQUE 3

Le spectroscopie virtuelle donne les longueurs d'onde observées en ångström



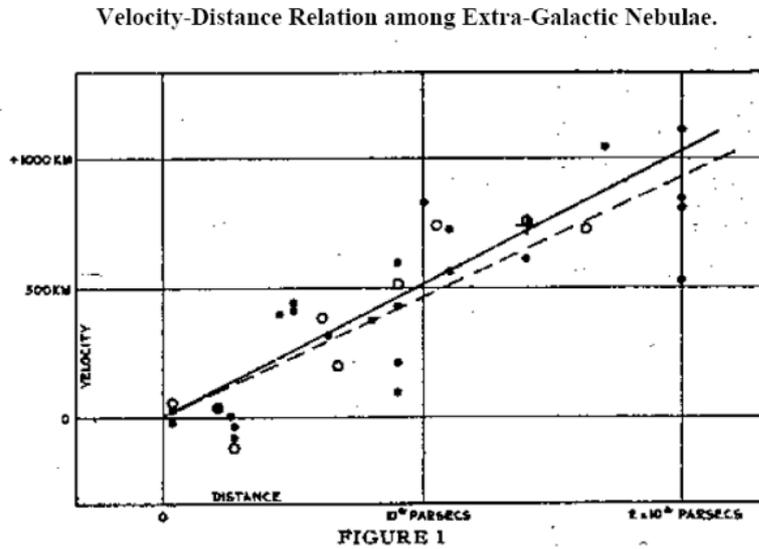
Wavelength

The wavelength is 6609.0 Angstroms

$$1 \text{ ångström} = 1 \text{ Å} = 0,1 \text{ nanomètre} = 10^{-10} \text{ m}$$

REMARQUE 4

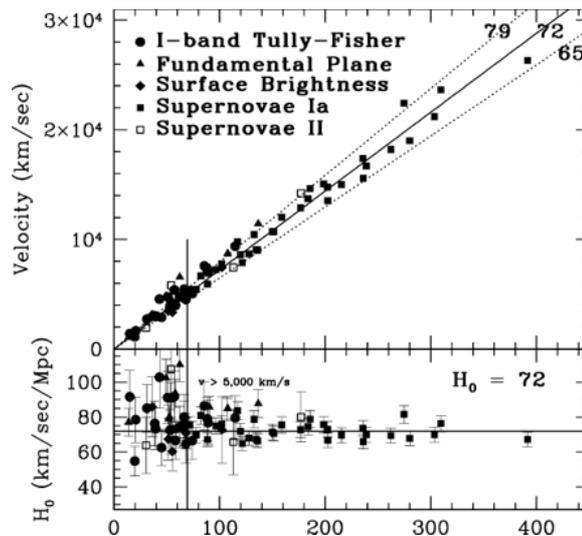
Les données sont devenues plus précises avec le temps, grâce à l'évolution de la technologie et une meilleure compréhension des distances



Les données publiées par Hubble en 1929

REMARQUE 4

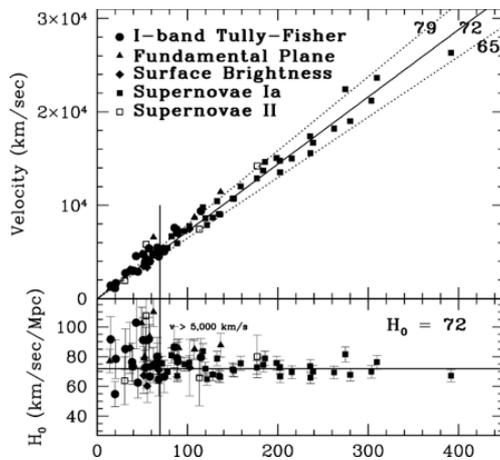
Les données sont devenues plus précises avec le temps, grâce à l'évolution de la technologie et une meilleure compréhension des distances



Données plus récentes (autour de 2000)

REMARQUE 5

Les vitesses sont en km/s. Les distances en Mpc.



1 Mpc = $3 \cdot 10^{19}$ km

1 année $\approx 3 \cdot 10^7$ secondes

$$H \approx 70 \text{ km/s/Mpc} = \frac{70}{3 \cdot 10^{19} \text{ s}} \longrightarrow \frac{1}{H} \approx 15 \text{ milliards d'années}$$

Lien vers les images et les spectres des galaxies
utilisées dans cette activités sont disponibles à
(site en anglais)

<http://depts.washington.edu/astroed/HubbleLaw/galaxies.html>