

## Introduction à l'Astrophysique

# Série 13: Enoncé

Laboratoire d'Astrophysique <http://lastro.epfl.ch>  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Semestre de printemps 2025

Le thème de la Cosmologie n'étant abordé en cours que cette semaine, nous avons décidé de remettre cet exercice.

### Exercice 1 : La loi de Hubble

En 1929, Edwin Hubble publia la première preuve que notre Univers est en expansion<sup>1</sup>. Dans ce papier, Hubble a reporté les distances and les vitesses radiales de 24 galaxies (voir tableau ci-dessous), et a pu observer que plus la galaxie est lointaine, plus elle s'éloigne rapidement.

Galaxie	SMC	LMC	6822	598	221	224	5357	4736
$V$ (km/s)	170	290	-130	-70	-185	-220	200	290
$D$ (Mpc)	0.032	0.034	0.214	0.263	0.275	0.275	0.45	0.5
Galaxie	5194	4449	4214	3031	3627	4826	5236	1068
$V$ (km/s)	270	200	300	-30	650	150	500	920
$D$ (Mpc)	0.5	0.63	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
Galaxie	1055	7331	4258	4151	4382	4472	4486	4649
$V$ (km/s)	450	500	500	960	500	850	800	1090
$D$ (Mpc)	1.1	1.1	1.4	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0

Les vitesses radiales ont été estimées grâce à la mesure de leur redshift en assumant  $V = cz$ . Quant aux distances, elles furent estimées avec des Céphéides (étoiles variables).

- Certaines des vitesses radiales sont négatives : est-ce attendu ? Que cela veut-il dire ?
- Avec les mesures reportées dans le tableau, essayez d'estimer le fit entre la vitesse  $V$  et la distance  $D$  :  $V = H_0 \times D$  en utilisant par exemple Excel ou Python avec la fonction `optimize.leastsq` de `scipy`<sup>2</sup>. Vous pouvez utiliser le Notebook à disposition sur Moodle sur Google Collab<sup>3</sup>
- Quelle est l'unité de  $H_0$  ? Quelle interprétation peut-on lui donner ?

1. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1929PNAS...15..168H/abstract>  
2. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.leastsq.html>  
3. <https://colab.google/>

- d) Interprétez  $H_0$  lorsqu'elle est exprimée en  $\text{Gyr}^{-1}$ . Par exemple, imaginez deux galaxies qui sont actuellement séparées par une distance  $D$  avec chacune une vitesse  $V$ . En assumant que leur vitesse est constante, quand était-elle en contact ?
- e) Hubble a largement surestimé  $H_0$  à cause des mesures de distances sous-estimées. Depuis 1960, nous savons que  $H_0$  est de l'ordre de  $50\text{-}100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ . Le tableau ci-dessous donne les vitesses en fonction des distances mesurées avec le *Hubble Space Telescope* (Freedman et al. 2001<sup>4</sup>). Par simplicité, nous avons négligé l'erreur des erreurs sur la distance. Estimez à nouveau  $H_0$  avec ces données.

Galaxie	0300	0925	1326A	1365	1425	2403	2541	2090
$V$ (km/s)	133	664	1794	1594	1473	278	714	882
$\Delta V$ (km/s)	273	290	630	437	8	85	222	44
$D$ (Mpc)	2.00	9.16	16.14	17.95	21.88	3.22	11.22	11.75
Galaxie	3031	3198	3351	3368	3621	4321	4414	4496A
$V$ (km/s)	80	772	642	768	609	1433	619	1424
$\Delta V$ (km/s)	166	76	533	470	411	3	596	43
$D$ (Mpc)	3.63	13.80	10.00	10.52	6.64	15.21	17.70	14.86
Galaxie	4548	4535	4536	4639	4725	4182	5253	7331
$V$ (km/s)	1384	1444	1423	1403	1103	318	232	999
$\Delta V$ (km/s)	37	34	25	45	122	318	568	179
$D$ (Mpc)	16.22	15.78	14.93	21.98	12.36	4.49	3.15	14.72

---

4. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2001ApJ...553...47F/abstract>