

AVEC NOS ÉLÈVES

Activités sur le thème des galaxies

Hervé Faivre, enseignant de sciences physiques, Semur-en-Auxois

Hervé Faivre anime depuis de longues années un atelier astronomie dans son collège. Il nous propose ici des activités de différents niveaux sur le thème des galaxies.

L'Univers évolue ; on le voit en expansion, mais c'est surtout dans nos représentations qu'il a évolué le plus à l'échelle du temps humain. Dernièrement, dans une publication récente¹, le nombre de galaxies estimé à été multiplié par 10 ... et alors ? Qu'est-ce que cela change pour nous avec nos élèves ?

Si, comme moi, ces dernières années vous avez pu réaliser quelques activités autour des galaxies, peut-être vous êtes-vous demandé s'il faut tout mettre à la corbeille et recommencer.

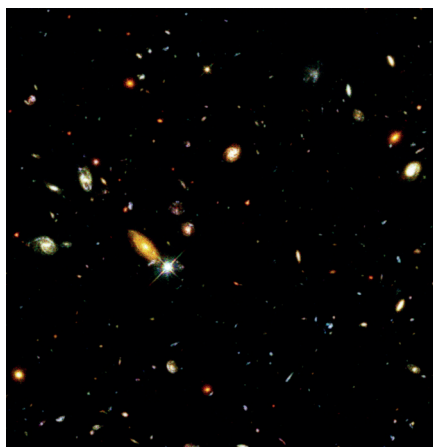
Voici quelques calculs et autres amusements actualisés autour de ce thème.

Le champ profond de Hubble et l'estimation du nombre de galaxies

Le « champ profond de Hubble » (ou HDF pour l'anglais Hubble Deep Field) est une région de l'hémisphère nord de la sphère céleste située dans la constellation de la Grande Ourse, couvrant à peu près 1/30 000 000 de la surface du ciel, et qui contient environ 3 000 galaxies de faible luminosité. Cette prise de vue s'est étalée sur 10 jours consécutifs du 18 au 28 décembre 1995. Elle a une taille d'environ 2,6 minutes d'arc. Cela équivaut à celle d'un bouton de chemise placé à 25 mètres².

Fig. 1. Vue d'une partie de l'Univers explorée par le télescope spatial Hubble. Des milliers de galaxies sont visibles sur cette image.

©NASA, ESA, 1995



Quelques calculs à faire à partir de l'article

Le champ de vision de cette image est de 2,6 minutes d'arc (diamètre du champ), soit, en supposant le champ circulaire, $\pi \times (2,6/2)^2 = 5,3$ arcminutes² ou encore $5,3/(60 \times 60) = 1,47 \times 10^{-3}$ deg².

L'angle solide de la voûte céleste entière mesure 4π stéradians soit $4\pi \times (180/\pi)^2 \approx 41\,253$ deg²

$1,47 \times 10^{-3} / 41\,253 = 3,57 \times 10^{-8}$ soit 1/28 000 000 de la voûte entière (proche de 1/30 000 000).

Pour accéder au nombre total de galaxies dans l'Univers visible, il suffit alors de multiplier 3 000 par 28 000 000 et on obtient déjà une « petite » centaine de milliards de galaxies.

Depuis, ces données ont été améliorées avec un Champ Ultra Profond (HUDF) et même un Hubble eXtreme Deep Field en 2012 comptant des objets à plus de 13,2 milliards d'années-lumière. On admettait alors un nombre de galaxies d'environ 200 milliards.

En fin d'année dernière, en utilisant des images du champ ultra profond avec Hubble et d'autres télescopes (VLT), des astronomes, en Grande-Bretagne, ont réussi à construire des images 3D³. Ils sont alors arrivés à la conclusion que le nombre actuellement admis de galaxies était sous-estimé d'au moins un facteur 10 !

Pour faire très court : auparavant nous n'étions pas en mesure de compter les petites galaxies lointaines et peu lumineuses (on aurait pu le deviner). Il semble bien que, dans l'espace lointain, il y ait dix fois plus de galaxies par unité de volume que dans l'espace proche.

Si on voit loin dans l'Univers, on voit tôt dans le passé. Ce que l'on trouve n'est pas le nombre de galaxies d'aujourd'hui mais bien le nombre de galaxies dont la lumière nous parvient seulement aujourd'hui. Il s'agit d'une sommation sur la profondeur de champ de l'image qui revient en fait à une sommation sur du temps. Nombre de galaxies ont disparu ou fusionné

1 <https://arxiv.org/abs/1607.03909>

2 Résumé de l'article Wikipedia sur le sujet.

3 https://www.sciencesetavenir.fr/espace/univers/dix-fois-plus-de-galaxies-dans-l-univers-observable_107518

depuis. Mais alors, qu'a bien pu apporter la 3D dans ce nouveau recensement ?

L'image 3D représente les galaxies observables dans une direction donnée à une distance comprise entre 0 à une dizaine de milliards d'années-lumière. Imaginez un peu le cauchemar : prenez une photo de classe pour compter vos élèves. Votre classe est très profonde (les effectifs nombreux des classes surchargées...). Tout devant, au premier rang, il y a des lycéens brillants (un peu trop ils gênent même votre perception du fond). Au deuxième rang, ils brillent déjà moins mais surtout ce sont des élèves plus jeunes au look de collégiens ! Au troisième, encore plus jeunes, des primaires. Au quatrième rang, des maternelles... et vers le fond de la classe, c'est flou, diffus, plus rien à voir, il fait tout noir.

Saurez-vous dire combien vous avez d'élèves ? Dans cette classe ? Cette année ? Depuis toujours ? Certains élèves du fond auront peut-être même quitté le cursus avant le lycée.

Bon ! Un facteur 10 en astronomie, ce n'est rien. Au final, on apprend juste qu'il y a dix milliards d'années, il y avait au moins dix fois plus de galaxies qu'aujourd'hui par unité de volume et que, depuis, beaucoup ont fusionné pour former des objets plus gros... Bref, pas de quoi s'affoler et réécrire tous les manuels. Au pire on rajoute un zéro au crayon.

Allons-nous manquer de sable ?

Il est usuel de comparer le nombre d'étoiles dans l'Univers avec celui des grains de sable sur Terre. Pour s'essayer à la notation scientifique des grands nombres, c'est un bon exercice pour des collégiens.

Prenons 200 milliards de galaxies contenant chacune entre 200 et 400 milliards d'étoiles. L'ordre de grandeur du nombre d'étoiles dans l'Univers est donc de $2 \times 10^{11} \times 3 \times 10^{11} = 6 \times 10^{22}$ soit environ 10^{23} étoiles.

Comptons les grains de sable sur l'ensemble des plages du monde. On prend 1 000 000 km pour la longueur totale des côtes à l'échelle mondiale (selon les sources cela varie énormément selon l'échelle choisie, les côtes se présentent sous forme fractale... en estimer la longueur n'est pas très raisonnable⁴). On considère, de plus, que seulement 1/4 de ces côtes sont recouvertes de sable sur une bande de 100 m de plage et 4 m de profondeur sur 250 000 km.

Cela donne :

$$100 \times 4 \times 2,5 \times 10^8 = 10^{11} \text{ m}^3 \text{ de sable.}$$

Un grain de sable a une taille comprise en 0,01 et

2 mm, disons $0,1 \text{ mm}^3$ en moyenne.

On obtient $10^{11} / 10^{-10} = 10^{21}$ grains de sables.

C'est un peu juste, il va falloir creuser davantage !

On peut aussi le comparer au nombre de gouttes d'eau dans les océans.

Volume d'eau salée (97 % de l'hydrosphère) :

$$1,3 \times 10^9 \text{ km}^3 = 1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3$$

Volume d'une goutte d'eau moyenne :

$$0,5 \text{ mL} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Nombre de gouttes d'eau :

$$1,3 \times 10^{18} / 5 \times 10^{-7} = 2,6 \times 10^{24} \text{ gouttes}$$

Cette fois c'est un peu trop, mais c'est préférable, compte tenu de l'inflation du nombre de galaxies.

Photographier des galaxies avec des gros télescopes

Déjà en 2012, dans le CC n° 140, je vous présentais l'utilisation des télescopes de Faulkes et les travaux des collégiens pour reproduire le diagramme en diapason des galaxies en utilisant ces télescopes. Il est toujours possible d'observer et de photographier les galaxies avec les Faulkes ou avec les télescopes Iris.

filename	DATE_OBS	filter	obstype	Reduction
ogghm01-fs02-20150419-0043-e00.fits.gz	2015-04-20 10:14:18	B	EXPOSE	raw
ogghm01-fs02-20150419-0043-e00_cat.fits.gz	2015-04-20 10:14:18	B	CATALOG	raw
ogghm01-fs02-20150419-0043-e00.fits.gz	2015-04-20 10:14:18	B	EXPOSE	-
ogghm01-fs02-20150419-0044-e00.fits.gz	2015-04-20 10:15:10	V	EXPOSE	raw
ogghm01-fs02-20150419-0044-e00_cat.fits.gz	2015-04-20 10:15:10	V	CATALOG	raw
ogghm01-fs02-20150419-0044-e00.fits.gz	2015-04-20 10:15:10	V	EXPOSE	-
ogghm01-fs02-20150419-0045-e00.fits.gz	2015-04-20 10:16:00	R	EXPOSE	raw
ogghm01-fs02-20150419-0045-e00_cat.fits.gz	2015-04-20 10:16:00	R	CATALOG	raw
ogghm01-fs02-20150419-0045-e00.fits.gz	2015-04-20 10:16:02	R	EXPOSE	-

Fig. 2. Exemples d'images prises avec les Faulkes.

Chez FAULKES, l'interface a beaucoup évolué et le nombre de télescopes opérationnels également. C'est un excellent outil pour l'observation des galaxies de tous types par télescopes téléopérés en toutes saisons et toutes latitudes avec des appareils de 2 m, 1 m et moins). Les télescopes IRIS ouvrent également cette possibilité depuis la France. Ils n'offrent toutefois pas le confort du décalage horaire des Faulkes ! Ces instruments feront l'objet d'un article dans un prochain numéro.

Prendre part à des projets avec galaxyzoo

Le nouveau décompte des galaxies nous apprend que 90 % restent à étudier. Des nouveautés sont donc probables mais sans doute pas de quoi modifier la classification de Hubble (vers 1936) ou celle de Vaucouleurs (1959). Néanmoins il y aura certainement de quoi alimenter la base de données

4 Voir par exemple https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_pays_par_longueur_de_c%C3%B4tes

de Galaxy Zoo qui fête ses 10 ans. C'est la 4^e version et il a de nombreux petits frères dans la galaxie des projets de sciences participatives.

Galaxy Zoo 3D et Sunspotter sont en pause actuellement, victimes de leurs succès, mais d'autres projets vous permettent de partir à la recherche d'objets martiens (Planet Four) de supernovæ (Supernova Hunters), d'exoplanètes ou de disques protoplanétaires (Exoplanet Explorers / Disk Detective)...



Fig. 3. Avec Galaxy Zoo, les élèves peuvent participer simplement à des projets comme la classification des galaxies issues d'images de Hubble et bien d'autres.

Comment « peser » une galaxie ?

On peut estimer la masse d'une galaxie dès lors qu'il est possible d'accéder à sa vitesse de rotation et son rayon⁵. Nous vous proposons trois exemples d'exercices.

Les deux premiers permettent d'obtenir la masse de notre Galaxie connaissant la vitesse du Soleil autour du centre galactique, le troisième utilise un spectre d'une autre galaxie et le décalage Doppler-Fizeau. Nous ne donnons ici que les énoncés, vous trouverez les solutions sur les sites respectifs.

- Exercice proposé sur le site du CLEA⁶

- * Quelle est la distance du Soleil au centre galactique en kilomètres et en unités astronomiques ?
- * Combien d'années met le Soleil pour faire une révolution autour du centre galactique ?
- * Quelle est la loi de Kepler pour le Soleil tournant autour du centre galactique et pour la Terre tournant autour du Soleil, avec les unités suivantes : unité astronomique et année. En déduire la masse M de notre Galaxie.
- * Retrouver le résultat directement en utilisant la constante de la gravitation G .

⁵ On utilise, dans les exemples qui suivent, soit la 3^e loi de Kepler généralisée ($r^3/T^2 = GM/4\pi^2$) soit l'égalité entre l'accélération gravitationnelle du centre et l'accélération centripète ($GM/r^2 = V^2/r$)

⁶ <http://clea-astro.eu/lunap/GalaxMasse/GalMasActiv>

- Exercice proposé par l'observatoire de Paris⁷

Notre galaxie, la Voie Lactée, a la forme d'une galette d'environ 30 000 pc de diamètre et 2 000 pc d'épaisseur. La région centrale est formée d'un bulbe d'allure sphérique de 2 700 pc de rayon, qui contient l'essentiel de la masse galactique. Le Soleil orbite à 8 000 pc du centre galactique. D'après les mesures Doppler effectuées sur la raie à 21 cm de l'hydrogène, l'orbite du Soleil est approximativement circulaire, et la vitesse orbitale du Soleil est d'environ 220 km/s.

- * Déterminer la période T du mouvement du Soleil autour du centre galactique. L'exprimer en années.
- * Estimer la masse du bulbe galactique, en unité de masse solaire.

- Exercice proposé par HOU⁸

Les étapes de l'exercice :

- * On mesure le décalage Doppler-Fizeau sur le spectre de la galaxie NGC 7083 sur deux parties éloignées de 10 pixels du centre et on en déduit leur vitesse en km/s.
- * Connaissant la distance de la galaxie, on calcule la distance de chaque partie au centre sachant qu'un pixel correspond à 0,82".
- * On déduit de ces deux résultats la masse de la galaxie.

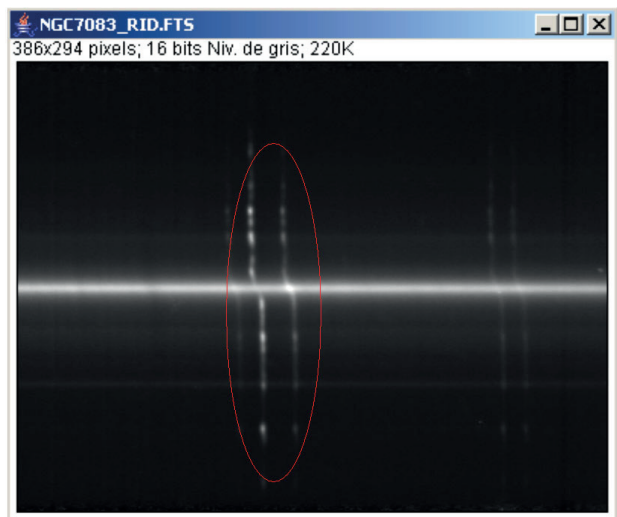


Fig. 4. Spectre de la galaxie NGC 7083. Au centre, la bande claire est le spectre du noyau de la galaxie. Le décalage spectral est bien visible sur les raies entourées en rouge.

Une autre méthode pour estimer la masse d'une galaxie est de déduire de sa luminosité le nombre de soleils qu'elle pourrait contenir pour rayonner autant. On peut imaginer diverses activités sur le sujet à base de logarithmes... ■

⁷ http://www.edu.upmc.fr/uel/physique/astrophy/sexercer/chapitre2/souschapitre1/section1/page8_1.html

⁸ <http://www.fr.euhou.net/index.php/exercices-mainmenu-13/lyce-mainmenu-174/84-peser-une-galaxie>