



Les galaxies sont groupées en amas contenant des centaines, voire des milliers de galaxies, à des distances de centaines de millions d'a.l. (photo ESO).

8

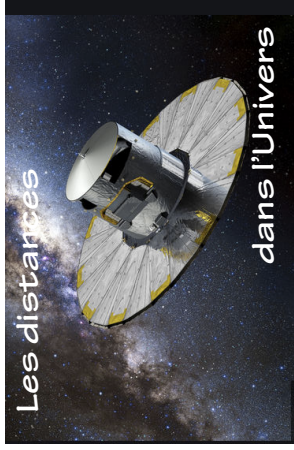
La galaxie d'Andromède, visible à l'œil nu dans l'hémisphère nord comme une tache diffuse, se trouve à 2 millions d'a.l. de la nôtre.



Notre Galaxie, visible par temps clair dans le ciel comme une nuée laiteuse, mesure environ 103.000 a.l. de diamètre.

Notre Soleil se trouve à 28.000 a.l. de son centre. (photo ESO).

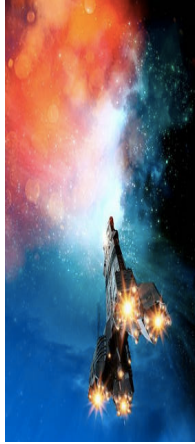
L'Univers dans ma poche



Christiane Vilain
Observatoire de Paris

Jeu

Supposons que nous disposions d'un vaisseau spatial capable de voyager à une vitesse égale à de celle de la lumière...



Combien de temps mettrions-nous pour atteindre :

- Le Soleil ?
- Proxima centaury,
- Vega ?
- La galaxie d'Andromède ?
- Les galaxies de l'amas de Virgo ?

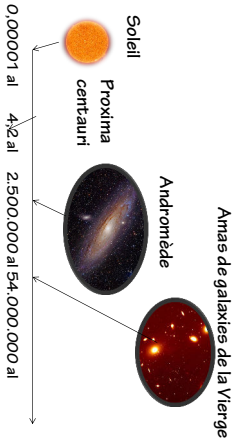
Réponses au dos

Nébuleuses et galaxies

En 1900, on ne connaissait pas encore l'existence d'autres galaxies que la nôtre, nommée « Voie lactée ». On observait des clartés « nébuleuses » que l'on situait dans notre Galaxie.

Cette supposition fut remise en question par Hebert D. Curtis au cours d'un « grand débat » qui l'opposa en 1920 à Harlow Shapley. Mais la question de savoir si ces objets appartenaient à notre Galaxie ou non demeura ouverte jusqu'à ce que l'on soit capable de déterminer leurs distances, grâce à la méthode des céphéides, puis celle des décalages spectraux (voir le Tuimp n°2) obtenus par l'analyse de la lumière à travers des prismes ou des réseaux.

9



Amas de galaxies de la Vierge

La distance de la Lune, départ de notre parcours vers les confins de l'Univers, est mieux connue aujourd'hui grâce aux lasers, qui envoient des flashes de lumière réfléchis par des miroirs déposés sur la Lune au cours de missions Apollo. On obtient ainsi une mesure très précise de la distance de notre satellite, et donc des distances des planètes du Système solaire. Au-delà, on utilise une succession de méthodes. D'abord les parallaxes, puis les céphéides. Plus loin, lorsque les céphéides ne peuvent plus être distinguées, on utilise des astres plus lumineux, comme les supernovae de type II. Ces méthodes s'embourbent les unes dans les autres, chacune étant calibrée par la précédente dont l'ensemble constitue « l'échelle de distance cosmique ».

L'Univers

Les galaxies fuient d'autant plus vite qu'elles sont plus loin. En généralisant cette relation, bien établie et admise par la communauté scientifique après 1929, le redshift devient à son tour une mesure de distance pour les objets plus lointains dans lesquels on ne peut plus observer de céphéides ou de supernovae.

En fait, les astronomes n'utilisent pas l'année-lumière comme unité pour exprimer les distances des galaxies ou des quasars les plus lointains, mais simplement le redshift, c'est-à-dire la valeur (notée z) du décalage spectral par rapport à la longueur d'onde au repos. Les redshifts de la plupart des galaxies de l'amas de la Vierge se situent entre 0,5 et 1, tandis que le redshift de la galaxie la plus lointaine connue à ce jour est $z = 1,109$.

13

Mesures géométriques

En visant un même astre depuis deux lieux différents, on obtient un triangle dont la base et deux angles sont connus, ce qui permet d'évaluer la distance de l'objet.

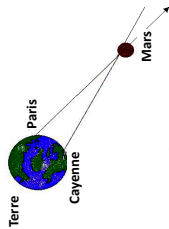
La «parallaxe» est l'angle au sommet du triangle dont la base est le rayon de l'orbite terrestre.

L'étoile la plus proche, α Centauri, se trouve à 4,2 a.l., ce qui implique une parallaxe de 0,74 secondes d'arc (s.a.), seulement.

En 1838, Friedrich Bessel effectua la première mesure de parallaxe : 0,3 s.a. pour la θ 1^e étoile du Cygne ; peu après, on mesura celle de Vega (0,12 s.a.) ainsi que celle d' α Centauri ; d'autres mesures suivirent mais on était limité en sensibilité.

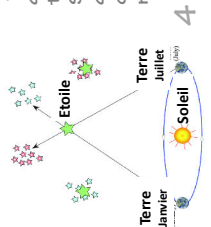
Les satellites européens Hipparcos vers 1990, Gaïa aujourd'hui, ont mesuré des millions de parallaxes.

5



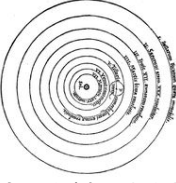
Pour les planètes on utilise la dimension du globe terrestre afin d'obtenir deux visées différentes. La distance de notre voisine, la planète Mars, a ainsi été évaluée en 1672 par l'angle entre les lignes de visées depuis Paris et Cayenne, permettant d'obtenir enfin une distance correcte pour notre Soleil, car on connaissait déjà le rapport de la distance au Soleil de Mars à celle de la Terre.

Une étoile proche se projette sur un fond d'étoiles lointaines supposées à l'infini, puis six mois plus tard sur un fond différent. La base du triangle formé par les deux lignes de visée est alors le diamètre de l'orbite terrestre autour du Soleil, et non plus le diamètre de la Terre comme dans la mesure de 1672.



4

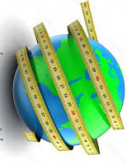
des planètes : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.²



Quant à son système solaire, on ne connaissait en 1573, lorsque Copernic affirma que la Terre tourne autour du Soleil (ci-contre), que les rapports des distances au Soleil

étaient les mêmes que ceux de la Lune et sa trajectoire angulaire, il pouvait calculer sa distance. Quant à son système solaire, on ne connaissait en 1573, lorsque Copernic affirma que la Terre tourne autour du Soleil (ci-contre), que les rapports des distances au Soleil

étaient les mêmes que ceux de la Lune et sa trajectoire angulaire, il pouvait calculer sa distance. Quant à son système solaire, on ne connaissait en 1573, lorsque Copernic affirma que la Terre tourne autour du Soleil (ci-contre), que les rapports des distances au Soleil



étaient les mêmes que ceux de la Lune et sa trajectoire angulaire, il pouvait calculer sa distance. Quant à son système solaire, on ne connaissait en 1573, lorsque Copernic affirma que la Terre tourne autour du Soleil (ci-contre), que les rapports des distances au Soleil

Réponses

Combien de temps mettrions-nous pour atteindre :

- Le Soleil : 80 minutes
- Proxima centauri : 42 ans
- Vega : 250 ans
- La galaxie d'Andromède : 25 millions d'années !
- Les galaxies de l'amas de Virgo : 540 millions d'années



Décalage spectral

Les spectres des étoiles présentent des raies sombres dues à l'absorption de la lumière par les atomes des couches extérieures de l'astre (voir Tumpes 2 et 10).

Dès 1914, Vesto Slipher avait vu que les raies sombres dans les spectres des galaxies présentaient un décalage vers le rouge (redshift) ressemblant à un effet Doppler : la fréquence de l'onde lumineuse, donc sa couleur, est modifiée par la vitesse de la source. Cet effet ressemble à celui affectant les ondes sonores d'un klaxon dont le son est plus aigu lorsque le véhicule se rapproche et plus grave lorsqu'il s'éloigne. Une lumière plus rouge vibre à une fréquence plus faible ; elle indique donc une vitesse d'éloignement : les galaxies semblent nous « fuir » ! En 1929, Edwin Hubble estima les distances de 46 galaxies en utilisant les céphéides qu'elles contenaient et montra que leurs redshifts augmentent avec leurs distances.

11

Les distances dans le cosmos

Les anciens avaient su évaluer le rayon de la Terre et la distance de la Lune, mais pas notre distance au Soleil qui est de 150 millions de km. C'est l'Unité Astronomique (U.A.) On croyait notre Soleil plus proche et il en était de même des étoiles. Or elles sont très lointaines, elles sont des "soleils", souvent plus gros que le nôtre, dont la lumière met des années à nous parvenir. On utilise alors comme unité de distance l' "année-lumière" (a.l.) qui est la distance parcourue par la lumière en un an, soit 9,460 milliards de km !

Les observations actuelles nous donnent accès à des distances de plus en plus grandes grâce aux grands télescopes terrestres et aux nombreux satellites, jusqu'à des millions d'a.l.

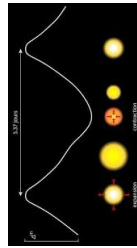
3



Au début du 20^e siècle, une astronome américaine Henrietta Leavitt (1868-1921), observa que certaines étoiles avaient une éclat variable avec une période régulière (voir la figure ci-dessous).

Elle observa d'abord ces étoiles dans la constellation de Céphée, d'où leur nom de céphéides. Plus tard, elle observa des étoiles similaires dans nos galaxies voisines, les «nuages de Magellan». Leur période dépendait de leur luminosité, qui pouvait être calculée en supposant que toutes les étoiles étaient à la même distance que leur galaxie hôte.

Bien que son patron Edward Pickering ait tenté de la décourager, Henrietta persista et détecta près de deux mille Céphéides pour en déduire la proportionnalité entre période et luminosité. Elle mourut trop tôt pour connaître l'importance de sa découverte.



6



Ci-contre, le télescope du Mont Wilson avec lequel Edwin Hubble effectua ses observations. En 1929, il montra que la vitesse des galaxies augmente avec leur distance à la nôtre. Hubble n'a pas été le premier à penser à une telle relation. En fait, l'abbé Georges Lemaître, un astronome et cosmologiste belge, avait déjà suggéré que les décalages vers le rouge des galaxies étaient proportionnels à leurs distances.

La «constante de Hubble-Lemaître», qui nous dit de combien la vitesse de récession des galaxies augmente pour chaque Mpc de distance, a d'abord été estimée à environ 500 km/s par Mpc (1 Mpc = un million de parsecs, et un parsec vaut 3,26 a.l.). Mais depuis les années 1950, de bien meilleures estimations donnent un nombre compris entre 50 et 100 km/s par Mpc. Elle est aujourd'hui estimée à 73 km/s par Mpc, à 2% près. Toutefois les données du satellite Planck, basées sur une autre approche, donnent une valeur de 67,4±0,5 (km/s)/Mpc.

10

Céphéides

La lumière des astres nous parvient affaiblie d'un facteur égal au carré de leur distance. Cela pourrait être un moyen de déterminer cette distance si on connaissait la luminosité propre de l'objet.

C'est pourquoi la découverte d'Henrietta Leavitt fut tellement importante. Les étoiles variables du type de celles qu'elle découvrit dans la constellation de Céphée et les nuages de Magellan, dont la période de variation indique la luminosité propre, se rencontrent également dans d'autres galaxies. On en détecte aujourd'hui jusqu'à des dizaines de millions d'a.l. grâce au télescope spatial Hubble, lancé en 1990.

7

TUMIP Creative Commons



Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes tu peux visiter <http://www.tumip.org>