Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 55 (1997)

Heft: 279

Artikel: La mesure des distances en astronomie : deuxième partie : les indicateurs secondaires et les distances extragalactiques

Autor: Barblan, Fabio

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898658

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

La mesure des distances en astronomie

Deuxième partie: les indicateurs secondaires et les distances extragalactiques

FABIO BARBLAN

Dans la première partie de cet article (ORION n° 278) nous avons abordé la mesure des distances dans notre propre galaxie, la Voie Lactée, et les indicateurs primaires. Ces derniers sont des objets de la Galaxie, comme par exemple les Céphéides et les supernovae, qui peuvent être utilisés pour déterminer des distances extragalactiques. Nous allons maintenant aborder dans ce texte les «indicateurs secondaires»; ce sont des objets d'autres galaxies qui peuvent être utilisés pour étalonner des distances extragalactiques permettant de pénétrer plus profondément dans l'univers que ce qui est autorisé par les indicateurs primaires.

Les régions H II

Les régions H II sont constituées d'hydrogène ionisé (un proton). Elles sont associées avec des étoiles jeunes, massives et chaudes dont le rayonnement ultraviolet intense ionise et chauffe à environ 10000 degrés Kelvin une bulle de gaz d'hydrogène interstellaire. Au commencement, cachée par d'autres gaz et poussières interstellaires, la bulle s'étend progressivement, sous l'effet de sa pression interne, en ionisant une quantité toujours plus grande de gaz jusqu'à devenir optiquement visible. Strömgren a découvert qu'il existe une frontière très nette entre l'extrémité de la sphère de gaz ionisé et le gaz neutre qui s'étend au delà de la région H II. Dans le cas d'une symétrie sphérique, cette limite définit le rayon de Strömgren qui peut être calculé en égalant le nombre de photons ultraviolets ionisants ($\lambda < 912$ Angström) émis par l'étoile par unité de temps, au nombre total de recombinaisons[1] par unité de temps. Pour une densité typique d'un gaz interstellaire de 0,1 à 1 atome d'hydrogène par centimètre cube, le rayon de Strömgren créé par une étoile de type O5 est de l'ordre de 100 à 500 pc, à savoir dix millions de fois plus grand que le rayon de l'étoile elle-même. Les régions H II sont aussi des sources intenses de rayonnement continu, observable depuis le visible jusqu'aux longueurs d'onde radio, dues aux mouvements des électrons dans le champ électrostatique des ions d'hydrogène. Donc, que ce soit en rayonnement continu ou en émission de raies, les régions H II de grande taille[2], dans les galaxies, sont des objets lumineux observables à des distances considérables.

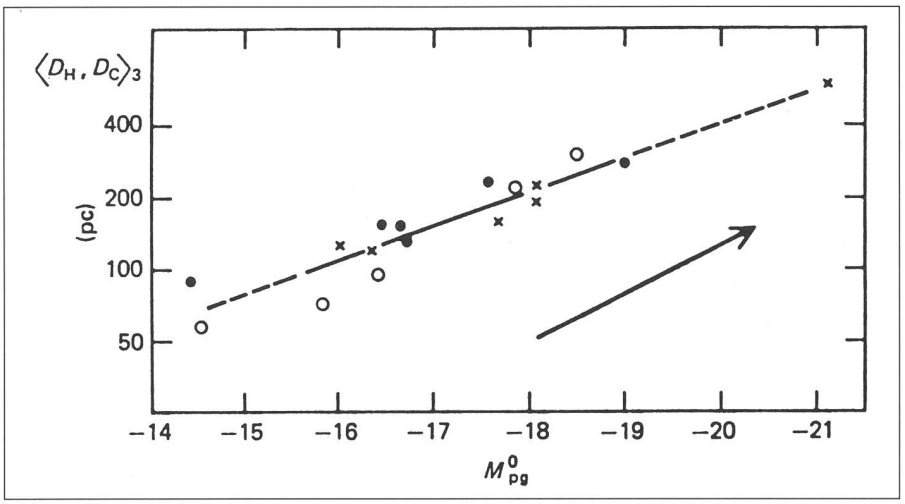

Figure 1. Ce graphique donne la corrélation, pour 17 galaxies membres du groupe local (cercles vides), du groupe de M81-NGC 2403 (cercles pleins) et du groupe de M101 (croix), entre les moyennes des diamètres du halo et du noyau et la magnitude photographique absolue, pour les trois plus vastes régions H II de chaque galaxie. La flèche indique la pente qui rendrait cette relation indépendante de la distance (source [1]).

Les régions H II géantes peuvent être modélisées par une structure à deux composantes: un noyaux central entouré d'un halo plus étendu.

En estimant le diamètre du noyau et du halo pour les trois régions H II les plus brillantes dans des galaxies de type Sc, Sd et Im[3] dans les groupes Local, M81 et M101, Sandage et Tammann ont mis en évidence une relation entre la moyenne des moyennes des deux diamètres mesurés et la magnitude photographique absolue de la galaxie.

$$\log [D(\text{halo}), D(\text{noyau})] = -0.140\, M(\text{photographique absolue}) - 0.202$$

Le graphique de la figure 1 montre la droite représentant cette relation. Malheureusement, la pente de cette droite est très proche de la valeur 0,2 qui rendrait la relation entre les dimensions des régions H II et la luminosité de la galaxie indépendante de la distance (voir encadré n° 2 de la première partie ORION 278: dans le module de distance intervient le facteur 5; or 1/5 =0.2). A cause de ce biais, les mêmes auteurs ont recherché une autre relation avec la classe de luminosité de la galaxie.

Pour toute méthode d'estimation de distances proposée, on peut trouver un certain nombre d'objections. Dans le cas présent, les critiques portent, entre autres, sur les faits suivants:

- la mesure des diamètres du noyau et du halo est sujette à des erreurs systématiques comme mis en évidence par De Vaucouleurs,
- la distance de NGC 2403 pour le groupe M81, déterminée à partir des Céphéides, est sujette à caution,
- la calibration effectuée n'est pas self-consistante puisque, pour M101, ont été incluses des galaxies dont la distance à été déterminée en utilisant des régions H II.

[1] Un photon ultraviolet ionise un atome d'hydrogène qui va se trouver dans un état exité. Il va donc émettre des photons, pour retrouver un état d'énergie plus bas. Ces photons ont des énergies caractéristiques que l'on observe en tant que raies de recombinaison dans le spectre du gaz.

[2] La masse de gaz ionisé peut atteindre, dans les régions H II les plus étendues dans une galaxies, une valeur aussi grande que cent millions de masses solaires.

[3] Les galaxies de type Sa et Sb ont été écartées parce qu'il a été démontré qu'elles possèdent des régions H II de plus petites tailles que les autres galaxies.

Si l'on tient compte de ces objections et que l'on réalise une calibration judicieuse, les résultats obtenus peuvent être considérés avec une certaine fiabilité.

Une autre relation faisant intervenir la luminosité de la région H II dans la raie Hα de Balmer à 6563 Angström a été trouvée et il est demontré qu'elle peut être prédite à partir d'un modèle statistique. L'étude en Hα de 600 régions H II de la galaxie, de type Sc, NGC 628 (M74) donne le graphique de la figure 2, qui montre une relation linéaire entre la luminosité en Hα et le nombre de régions H II ayant cette luminosité.

2) La largueur de la raie de 21 cm de l'hydrogène atomique (H I)

En 1977 a été découverte l'existence d'une relation entre la magnitude absolue d'une galaxie spirale, et la largueur de la raie à une longueur d'onde de 21 cm de l'hydrogène atomique. Cette raie est facilement observable à l'aide d'un radiotélescope de grande dimension. Le mouvement de l'hydrogène atomique dans la direction de la ligne de vue a comme conséquence l'élargissement de la raie spectrale par effet Doppler. La largeur de la raie exprimée en longueur d'ondes peut être convertie en vitesse (W_o) exprimée en kilomètres par seconde. La relation découverte par Tully et Fischer prend alors la forme:

M(photographique absolue) = -6.25 log(W_o/sin i) -3.5 (+/- 0.3)

Avec i l'inclinaison de la galaxie par rapport à la ligne de vue, les auteurs se sont limités, pour l'établissement de cette relation, à des angles i >= à 45°.

Des modifications successives ont porté sur le fait d'inclure aussi des galaxies ayant un angle i avec la ligne de vue plus petit que 45°, et de tenir compte des mouvements non circulaires et turbulents de l'hydrogène.

L'objection, majeure, que l'on peut faire à cette méthode provient du fait de l'ignorance presque totale dans laquelle on se trouve par rapport à l'estimation de l'obscurcissement interne d'une galaxie qui affecte, évidemment, sa magnitude. C'est pour cette raison qu'il a été proposé de remplacer la magnitude absolue photographique avec la magnitude absolue infrarouge à 1,6 micromètres. A cette longueur d'onde la correction pour l'extinction interne est négligeable. Dans ce cas la relation prend la forme:

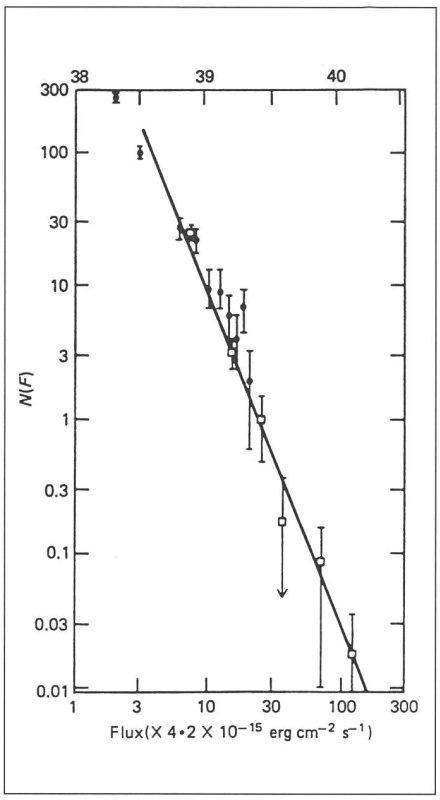

Figure 2. Relation entre la luminosité F(Hα) des régions H II, de NGC 628, et le nombre N(F) de régions (H II) ayant cette luminosité.

M(1,6 micromètres) = -10.0 log(W_o/sin i) + 3.77 (+/- 0.18)

La question qui reste ouverte est de savoir dans quelle mesure la pente et le terme constant dépendent du type de galaxie et de la longueur d'onde utilisée. Il existe pour le moment un certain consensus sur le fait que, si on utilise des galaxies d'un certain type, la pente est bien de 10 et qu'elle ne dépend pas de la longueur d'onde utilisée.

Cette méthode est très puissante pour la détermination des distances des galaxies et elle aura atteint une grande efficacité lorsqu'on sera capable de maîtriser le problème de l'éventuelle dépendance du type de galaxie.

La dimension des galaxies

Le diamètre linéaire D de différents types de galaxies (E-SO, Sa-b-c, Irr I) est corrélé avec la magnitude absolue photographique M_{pg} de la galaxie. Cette relation a été mise en évidence par Holmberge en 1969, elle prend la forme (figure no 3):

$$\log(D) = 1.19 - 0.167\, M_{pg}$$

La détermination de la dimension angulaire θ_o de la galaxie, et de sa magnitude apparente m, peuvent alors être utilisées pour établir sa distance. En effet, le diamètre linéaire D est égal à la dimension angulaire θ_o multipliée par la distance d. En utilisant le module de distance défini dans l'encadré n° 2 de la première partie on obtient pour la distance l'expression suivante:

$$d = [\,(10^{(0.355-0.167m)})/\theta_o\,]^{(6.06)}$$

Le difficulté de cette méthode réside évidemment dans la détermination de la dimension angulaire, θ_o, de la galaxie. La mesure de la dimension d'une galaxie sur une plaque photographique se fait par rapport à une intensité lumineuse limite qui est déterminée par le temps d'exposition, la sensibilité de l'émulsion photographique utilisée et l'intensité du ciel nocturne due à l'émission atmosphérique, la lumière zodiacale et la lumière des étoiles de la voie Lactée. On obtient ainsi un diamètre isophote[4] qui ne représente pas la dimension réelle de la galaxie. L'erreur commise se répercute évidemment sur la détermination de la distance.

5) Quelques résultats

On trouvera ci-dessous, sous forme de tableaux, un choix de résultats de la détermination de distances par les quelques méthodes évoquées dans les deux parties de cet article (source: The cosmological distance ladder, M. Rowan-Robinson).

Comme indiqué dans l'introduction de la première partie, ce tour d'horizon sur la détermination des distances astronomiques ne peut être que partiel et largement incomplet. Ainsi, parmi les moyens utilisés par les astronomes pour la détermination des distances dans le voie Lactée nous n'avons pas pris en considération les étoiles binaires et multiples, les méthodes spectroscopiques et photométriques, les amas et associations stellaires, les nuages géants moléculaires et les méthodes cinématiques (rotation de la Galaxie). Parmi les indicateurs primaires que nous n'avons pas cités on peut trouver, entre autres, les étoiles variables de type RR Lyrae, les géantes rouges les plus brillantes des amas globulaires et les étoiles variables de type Mira. Les amas globulaires, les étoiles rouges et bleues les plus lumineuses dans une galaxie, la relation couleur- lumiosité pour les galaxies de types elliptiques et lenticulaires sont des indicateurs secondaires que nous n'avons pas discutés. Les résultats

[4] Une isophote est une ligne d'égale intensité lumineuse.

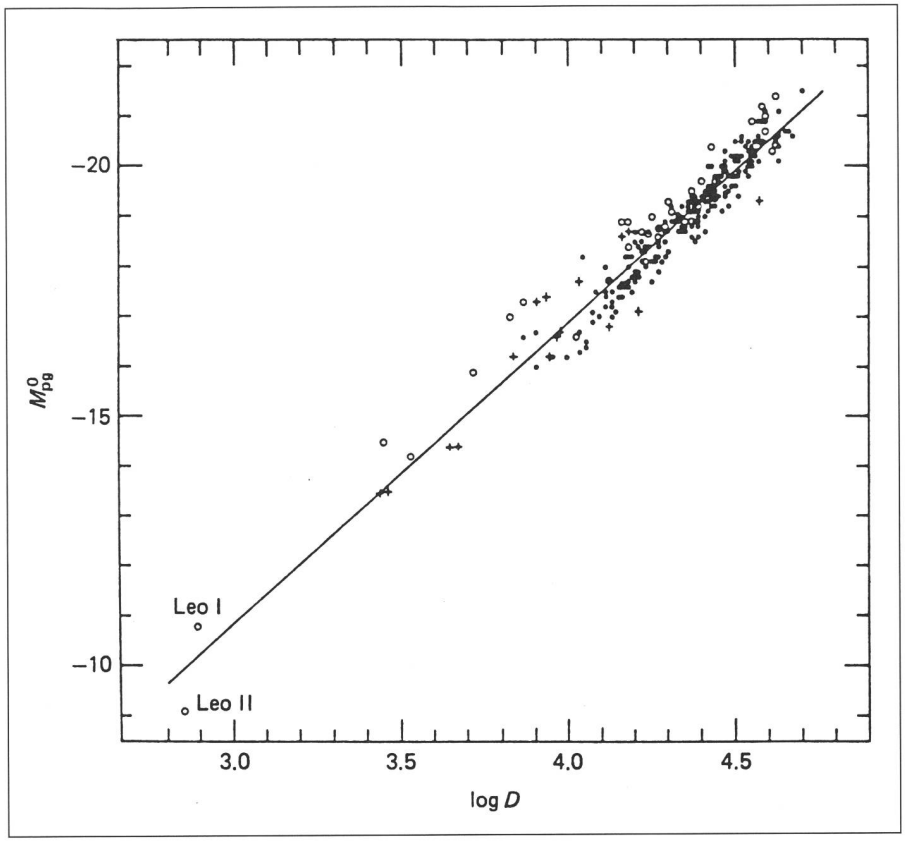

Figure 3. Corrélation entre la magnitude photographique absolue et le logarithme du diamètre D (en parsecs), pour des galaxies de type E-SO, Sa-Sb-Sc et irrégulières. La droite suit l'équation donnée dans le texte.

d'Hipparcos, qui seront bientôt disponibles, et les observations menées avec le télescope spatial Hubble[5], apporteront dans un proche avenir une remise à jour des calibrations dans les différentes méthodes et une fiabilité accrue dans la détermination des distances.

FABIO BARBLAN
2a, ch. Mouille-Galand, CH-1214 Vernier
Fabio.Barblan@obs.unige.ch

[5] Les résultats disponibles actuellement semblent indiquer une dimension de l'univers comprise entre dix et douze milliards d'années, donnant ainsi raison aux partisans d'une constante de Hubble relativement faible.

1) Distances de quelques étoiles proches, par la méthode de la parallaxe.

Nom	Parallaxe d'arc en sec.	Distance en AL
Sirius	0.377	8.6
Procyon	0.287	11.4
61 Cygni	0.292	11.2
Tau Ceti	0.273	11.9
Etoile de Kapteyn	0.256	12.7
Wolf 424	0.229	14.2
40 Eridani	0.205	16.1
Altair	0.196	16.6
70 Ophiuchi	0.195	16.7

2) Distances de quelques amas globulaires par le méthode de la séquence principale

Amas	Distance en kpc*
47 Tuc	4.7
M3	9.2
M5	7.0
M13	7.0
M92	6.2
NGC 6752	4.1
M15	8.0

* 1 pc = 3.26 AL.

3) Distances de galaxies ou groupes de galaxies selon différentes méthodes

Groupe	Méthode	Module de distance**
M81	Céphéïdes	27.24
	H I 21 cm, infrarouge	27.61
	H I 21 cm, optique	27.74
	H II, diamètres	26.59
	H II, flux Hα	26.46
M101	Supernovae type II	29.30
	H I 21 cm, infrarouge	29.01
	H I 21 cm, optique	29.27
	H II, diamètres	28.55
	H II, flux Hα	28.92
Virgo	Supernovae type I	31.73
	Supernovae type II	31.80
	H I 21 cm, infrarouge	30.93
	H I 21 cm, optique	31.03
	Amas globulaires	30.80
	H II, flux Hα	31.50

**la relation entre module de distance *m* et la distance, exprimée en parsec, est: $d=10^{(\mu/5+1)}$

Bibliographie

Référence principale:

[1] *The cosmological distance ladder*, M. ROWAN-ROBINSON, W. H. FREEMAN Company New York, 1985
Tous les manuels contiennent un (des) chapitre(s) plus ou moins complet(s) sur le problème de la détermination des distances astronomiques. En voici quelques exemples:
Planets, Stars and Galaxies, S. J. INGLIS, JOHN WILEY NY 1972
Astronomy, the cosmic perspective, M. ZEILIK, J. GAUSTAD, Harper and Row Publishers NY, 1983
Astronomy: Fundamentals and Frontiers, R. JASTROW, JOHN WILEY, 1974
An introduction to experimental astronomy, R. B. CULVER, W. H. FREEMAN & Company, 1974
L'expansion de l'Univers, W. FREEMAN, Pour la Science No 183, Janvier 1993
Les distances des galaxies: une clé de la cosmologie, L. BOTTINELLI, L. GOUGUENHEIM, Pour la Science, Octobre 1986

Autres références:

[2] *Variable Stars*, C. HOFFMEISTER, G. RICHTER, W. WENZEL, Springer-Verlag, 1985
[3] *Getting the mesure of the stars*, W. A. COOPER, E. N. WALKER, ADAMS HILGER, 1989
[4] *Supernovae*, A. G. PETSCHEK Editor, Springer-Verlag, 1990