

## La mesure des distances dans l'Univers

Michel Aurière<sup>(\*)</sup>

Connaître les dimensions du monde dans lequel nous vivons est un besoin fondamental pour comprendre notre place dans la nature. Dans l'antiquité, la Terre semblait le seul univers mesurable. Le système solaire, puis la Voie Lactée (notre galaxie) ont ensuite borné nos ambitions. Aujourd'hui, grâce à l'observation des galaxies lointaines, nous mesurons l'expansion d'un immense univers et la cartographie du fond cosmologique nous permet de comprendre son évolution physique.

L'histoire des mesures des distances dans l'univers se confond avec l'histoire de l'astronomie. Il s'agit d'une progression par paliers, où chaque nouvelle étape s'appuie sur la précédente.

Les premières méthodes sont fondées sur la trigonométrie, et sont une adaptation aux planètes du système solaire, puis aux étoiles de la galaxie, de celles utilisées sur terre par géomètres et géodésiens.

L'étape suivante utilise des étalons de distance, c'est-à-dire des étoiles dont l'éclat intrinsèque est connu. L'éclat apparent d'une étoile dépend en effet de deux paramètres : sa luminosité intrinsèque et sa distance. Si l'on connaît l'un, on peut déduire l'autre.

Finalement, pour aller plus loin et estimer la distance des galaxies les plus faibles, il faut s'immerger dans les modèles espace/temps de l'expansion de l'univers.

Mon exposé présente un enchaînement de méthodes et d'exemples choisis car ils sont significatifs de ce qu'utilisent vraiment les astronomes d'aujourd'hui.

Après avoir cité les astronomes grecs Ératosthène et Hipparque pour avoir été parmi les premiers à mesurer, respectivement, la circonférence de la Terre et la distance Terre-Lune, j'explique que les distances dans le système solaire sont connues précisément à partir de mesures radar et de modèles.

L'étape suivante, la mesure des distances des étoiles, fait appel à la notion de parallaxe et de mouvement propre. Les méthodes trigonométriques traditionnelles ont permis de mesurer un millier d'étoiles jusqu'à la distance de 60 années-lumières, alors que l'étoile la plus proche du Soleil est à environ 4 années-lumières et que la voie lactée, qui contient 100 milliards d'étoiles, a un diamètre de 100 000 années-lumières. C'était encore la situation à la fin des années 1980 au moment du lancement du satellite HIPPARCOS. C'est ici que se situe la révolution dans les mesures de distance par trigonométrie car, en 4 ans, 118 218 étoiles ont été mesurées, jusqu'à 3 000 années-lumières du soleil, avec une précision 50 fois meilleure que

---

(\*) Astronome à l'Observatoire Midi-Pyrénées.

précédemment. Les résultats d'HIPPARCOS dépassent l'établissement d'un catalogue de distances stellaires et ont des conséquences dans différents domaines de l'astrophysique tels que la détermination de l'âge d'étoiles d'amas ou de l'expansion de l'univers. Cette réussite a incité l'Agence Spatiale Européenne à programmer un nouveau satellite, GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) pour 2010. Cet observatoire spatial utilisera les techniques les plus élaborées pour mesurer 50 millions d'étoiles et explorer de façon significative notre galaxie jusqu'à plus de 50 000 années-lumières du Soleil.

Quitter notre galaxie demande clairement d'abandonner les méthodes trigonométriques pour des méthodes physiques. Nous retiendrons ici seulement la méthode des étalons de distance et deux d'entre eux qui, grâce aux images du Télescope Spatial Hubble, ont permis d'arpenter l'univers jusque dans ses confins observables : les étoiles variables de type céphéides et les supernovæ de type Ia. Les premières sont repérables dans des galaxies éloignées de 50 millions d'années-lumières, les secondes permettent d'atteindre le milliard d'années-lumières. Je présente dans mon exposé les résultats des groupes « Détermination de la constante de Hubble » et « Supernova Cosmology Project » qui utilisent le Télescope Spatial Hubble.

Pour mesurer la distance de toutes les galaxies jusqu'à ces grandes distances, les astronomes utilisent le décalage vers le rouge, la quantité  $z$ , qui mesure l'expansion de l'univers entre le moment où la lumière a quitté la galaxie et aujourd'hui. La distance devient alors une notion dépendant du modèle cosmologique choisi. Les modèles d'univers sont à la fois contraints par les observations de supernovæ de type Ia proches et lointaines et par celles du rayonnement fossile du « Big Bang ». Ce rayonnement est maintenant cartographié très précisément et je présente les résultats de l'expérience WMAP. Aujourd'hui, les différentes expériences convergent vers un modèle d'univers plat, âgé d'environ 14 milliards d'années et composé à près des trois quarts d'énergie noire, les atomes ne composant que quelques pourcents de l'énergie totale. Ces notions qui semblent aujourd'hui provenir de la science fiction sont une réalité et sont utilisées tous les jours par les physiciens et les astrophysiciens. Gageons que dans quelques années, elles seront devenues aussi communes que la rotondité de la Terre.