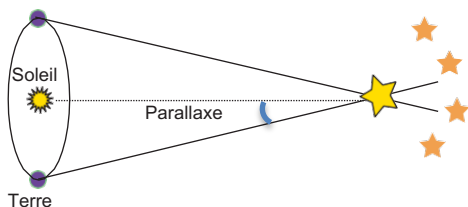


L'**astrométrie** est la plus ancienne des branches de l'astronomie. Dès les années **1000 av. J-C**, son objet premier a été la cartographie du ciel, bientôt étendu à l'observation des mouvements des astres, puis aux premières tentatives d'estimation des distances.

Pour déterminer la distance à une étoile, on emploie un concept appelé **parallaxe**. Si l'on repère depuis la Terre une étoile par rapport au fond du ciel et que l'on répète cette mesure six mois plus tard, lorsque la Terre a parcouru la moitié de son orbite autour du soleil, la position de l'étoile semble s'être décalée par rapport au fond d'étoiles. Ce déplacement angulaire apparent est ce qu'on appelle la **parallaxe stellaire**. La **distance** d'une étoile est reliée à sa parallaxe par une relation géométrique simple. Plus l'étoile est loin, plus sa parallaxe est petite. La parallaxe est difficile à mesurer car elle est extrêmement petite, sauf pour les quelques centaines d'étoiles les plus proches du Soleil.



L'**astrométrie** détermine également les mouvements des objets célestes dans l'espace les uns par rapport aux autres. Les deux composantes du mouvement doivent être mesurées : la **vitesse radiale**, qui est la vitesse de l'étoile dans notre direction, et le **mouvement propre**, qui est le mouvement d'un objet sur le ciel.

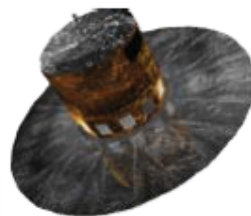
La **vitesse radiale** s'obtient facilement en mesurant le décalage du spectre de l'étoile. La détermination du **mouvement propre** est plus délicate et nécessite, sur plusieurs années, des observations très soigneuses de la variation de la position de l'étoile sur la sphère céleste.

Les distances et les mouvements des étoiles sont des données fondamentales pour comprendre la nature de l'Univers. La distance à une étoile permet de connaître sa luminosité réelle, sa taille, sa nature et son âge. Par ailleurs, connaître le mouvement des étoiles permet de savoir


## Les petits livres de Gaia

# HISTOIRE DE L'ASTROMÉTRIE

D'Hipparque a Gaia



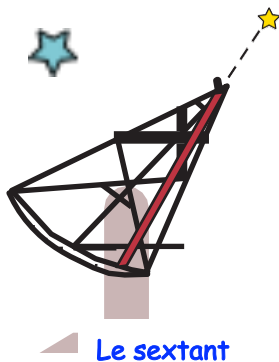
non seulement où elles se trouvaient il y a plusieurs millions d'années, mais également vers où elles se dirigent et quelles seront leurs positions dans le futur.

Les civilisations antiques avaient déjà réalisé que la surveillance du mouvement des étoiles et des planètes dans le ciel était le meilleur outil pour repérer l'écoulement du temps et les directions sur la Terre. Autant d'informations essentielles non seulement à la navigation ou aux rituels religieux, mais aussi à l'agriculture. Déterminer le moment approprié pour semer, planter ou faire les récoltes ont fait naître l'**astrométrie de précision**. 

Effectuer des mesures angulaires précises et établir des catalogues de positions célestes a été une des tâches fondamentales de l'astronomie jusqu'au **XIXème siècle** et est encore un aspect essentiel de la recherche astronomique actuelle. Les angles à mesurer sont extrêmement petits et l'amélioration de la précision des mesures est un objectif permanent des astronomes. La mise au point de nouveaux

instruments d'observation, de plus en plus précis, a conduit à des changements décisifs dans notre compréhension de l'Univers.

En **129 av. J-C.**, et avec l'œil comme seul instrument, l'astronome grec **Hipparque** est le premier à établir un catalogue d'un millier d'étoiles donnant leur brillance relative, et leur position avec une précision de un degré, soit l'angle sous lequel on voit une personne située à une distance de 100 m. On considère que ceci représente la naissance de l'**astrométrie**.



Le sextant

Après Hipparche, peu de progrès dans la précision des mesures sont réalisés jusqu'au **XVIème siècle**. La révolution vient de **Tycho Brahé** (1546 - 1601), astronome danois qui arrive à estimer les positions des étoiles à environ une minute d'arc près, c'est à dire un soixantième de degré. Il conçoit et met au point un grand nombre d'instruments, comme le sextant ou le quadrant mural, et change ainsi profondément les pratiques observationnelles. Les observations du mouvement des planètes par Tycho Brahé permettent à Kepler d'établir que les celles-ci se déplacent sur des orbites elliptiques.

En 1609, Galilée invente la lunette, ouvrant de nouvelles perspectives à l'observation. Mais la lunette seule n'apporte pas la solution pour mesurer des angles. Au cours du XVII<sup>ème</sup> siècle, le micromètre à fil est inventé. Il consiste en deux fils, montés dans le champ de vision d'un instrument, et se déplaçant l'un par rapport à l'autre grâce à une vis. Le nombre de tours de vis indique l'angle mesuré. Ceci permet de s'affranchir de la résolution limitée de l'œil humain, qui ne peut distinguer des angles inférieurs à une minute d'arc.



Au XVIII<sup>ème</sup> siècle, l'amélioration des matériaux et des techniques permet de graver avec une grande précision des échelles angulaires sur des supports comme le cercle astronomique. La précision des mesures atteint la seconde d'arc, ce qui permet, en 1725, la détection de l'aberration stellaire (effet combiné du mouvement de l'observateur et de la valeur finie de la vitesse de la lumière), première preuve directe du mouvement de la Terre dans l'espace. Ceci confirme les théories coperniciennes, encore controversées, qui affirment que la Terre tourne autour du Soleil et non l'inverse. Une autre découverte importante est celle du mouvement des étoiles dans l'espace par Edmund Halley.

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les techniques de gravure progressent encore et rendent possibles des mesures d'une précision meilleure que la seconde d'arc. Ce progrès est fondamental pour les premières mesures de parallaxes stellaires dans les années 1830. La confirmation de la distance très très grande, mais cependant finie, des étoiles marque un tournant dans notre conception de la nature des étoiles et de la place que nous occupons dans l'Univers.

Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, l'astronomie concentre ses efforts sur la compréhension de la nature des objets célestes grâce à de nouvelles techniques comme la spectroscopie (qui étudie la lumière émise par un objet, sa composition chimique, sa température et sa nature) et l'utilisation de plaques photographiques en astronomie. Les progrès en astrométrie sont d'ailleurs très difficiles car la meilleure précision possible depuis la Terre était atteinte (soit environ 0,1 seconde d'arc), la limite principale venant des effets atmosphériques.

Les choses changent considérablement pour l'astrométrie en 1989, lorsque l'Agence Spatiale Européenne (ESA) lance Hipparcos, le premier satellite astrométrique. Hipparcos observe

la totalité du ciel, permettant une précision 100 fois meilleure que les mesures au sol. Un catalogue comprenant les positions, distances et mouvements de 120 000 étoiles avec une précision d'environ 1 milli-seconde d'arc est établi. Les résultats d'Hipparcos sont utilisés par les scientifiques du monde entier, avec des applications importantes sur la nature de notre Galaxie.

Devant le succès d'Hipparcos, l'ESA a développé un satellite astrométrique beaucoup plus puissant, nommé Gaia, lancé le 19 décembre 2013. Gaia utilise des technologies de pointe pour établir des catalogues successifs d'extrême précision, permettant de construire une carte tridimensionnelle et dynamique de notre Galaxie. Ces catalogues contiennent les positions, distances, vitesses, magnitudes et couleurs de près de deux milliards d'étoiles. La précision des mesures d'angle est d'environ 20 micro-secondes d'arc (soit l'équivalent du diamètre d'un cheveu à une distance de 2000 km !), et mieux encore pour les étoiles brillantes.

Les premiers catalogues ont déjà permis d'approfondir de nombreuses questions, du Système Solaire aux quasars : amélioration des orbites des astéroïdes, modélisation détaillée de l'évolution de différents types d'étoiles, découvertes de traces de collision de notre Galaxie avec une autre galaxie et identification des étoiles capturées, étude détaillée de la structure des Nuages de Magellan et de leurs interactions avec la Voie lactée, amélioration majeure de notre connaissance du voisinage solaire, estimation de la proportion d'étoiles ayant un compagnon de type Jupiter. La révolution apportée par Gaia sur la compréhension de l'histoire de la formation de la Voie lactée est en marche !

Gaia représente le rêve de nombreuses générations d'astronomes, car il permet d'apporter enfin la lumière sur des questions posées depuis des siècles. Il résulte de la conjonction d'un intérêt universel envers la nature de l'Univers, de l'audace de scientifiques pleins d'imagination et du développement de technologies de pointe par des ingénieurs innovants.

Plus d'information sur l'histoire de l'Astronomie sur le site web de Gaia (en anglais)

<https://sci.esa.int/web/gaia/-/53196-the-oldest-sky-maps>

Informations sur Gaia (en français) : <http://gaia.obspm.fr>

Mise à jour : C. Turon, novembre 2020

La précision sur les positions au cours des siècles

