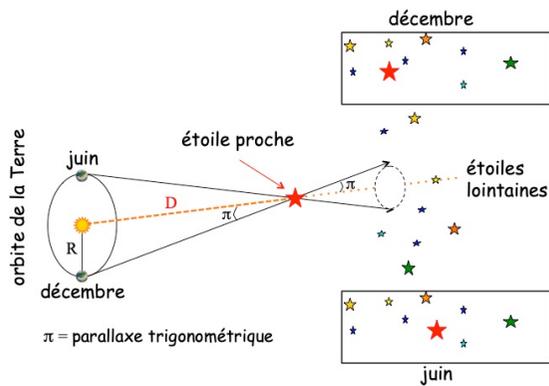


L'**astrométrie** est la plus ancienne des branches de l'astronomie. Dès les années **1000 av. J-C**, son objet premier a été la cartographie du ciel, bientôt étendu à l'observation des mouvements des astres, puis aux premières tentatives d'estimation des distances.

Pour déterminer la distance à une étoile, on emploie un concept appelé **parallaxe trigonométrique**. Si l'on repère 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. La **distance** d'une étoile est liée 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.



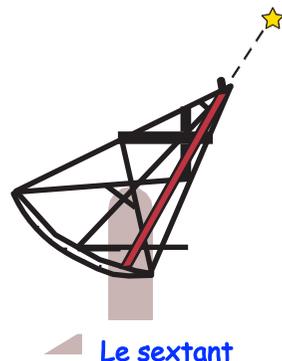
L'astrométrie détermine aussi les mouvements des étoiles sur le ciel : les **mouvements propres**, variation (minime !) de la position de l'étoile sur la sphère céleste au cours des années. Pour obtenir le mouvement global, il faut également mesurer la **vitesse radiale**, vitesse de l'étoile sur la ligne de visée. La **vitesse radiale** s'obtient en mesurant le décalage du spectre de l'étoile (effet Doppler).

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

Les petits livres de Gaia

HISTOIRE DE L'ASTROMÉTRIE

D'Hipparque à Gaia



Le sextant

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 l'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. Après Hipparque, 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 **XVIIème 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, qui ne peut distinguer des angles inférieurs à une minute d'arc.



Au **XVIII^{ème} 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 propre** des étoiles par Edmund Halley.



Au **XIX^{ème} 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 grande, mais cependant finie, des étoiles marque un tournant majeur dans notre conception de la nature des étoiles et de la place que nous occupons dans l'Univers.



Au cours du **XX^{ème} siècle**, l'astronomie concentre ses efforts sur la compréhension de la nature des objets célestes grâce à de nouvelles techniques comme la spectroscopie (donnant la composition chimique et la température des étoiles) et l'utilisation de **plaques photographiques** en astronomie. Les progrès en astrométrie sont cependant 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 !



Le prochain catalogue, Gaia DR3, est prévu pour le 13 juin 2022 et ajoutera à la dernière version, Gaia EDR3, 33 millions de vitesses radiales et des données essentielles à la description astrophysique des objets observés : température et analyse chimique de leurs atmosphères, variations lumineuses, orbites des systèmes d'étoiles ou étoile-planète, orbites, luminosités et couleurs des petits corps du Système Solaire, description de très nombreuses galaxies et quasars, etc.

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 (en anglais)

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

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

La précision sur les positions au cours des siècles

