

UN CIEL SUR MESURE (12/12)

L'ASTROMETRIE AUJOURD'HUI, JUSQU'OU ET POURQUOI ?

Discipline très ancienne de l'astronomie (l'astrométrie remonte à Hipparque vers 150 avant J.-C.), l'astrométrie est toujours pratiquée par les astronomes d'aujourd'hui: elle permet toujours d'explorer et comprendre l'univers. Comment? En fait, tout est dans la précision de mesure et donc soumis aux progrès de la technique, ce qui explique qu'il faudra attendre le XVII^e siècle pour que la précision soit suffisante pour faire progresser notre connaissance de l'univers. Un objet apparemment fixe devient souvent mobile si l'on augmente la précision de mesure de sa position et une modélisation du mouvement simple devient complexe avec une plus grande précision. Tout modèle est ainsi régulièrement remis en cause.

Intimement lié à la mesure de positions, se pose le problème d'une référence absolue acceptée par tous et accessible à tous. Difficile problème que l'on résout par progrès successifs. Par la mesure des astres, on comprend peu à peu ce qui bouge, ce qui est fixe et quelles sont les lois qui régissent ces mouvements. Un système de référence se construit peu à peu, d'où les mesures inlassables du ciel au cours des siècles et la construction des catalogues d'étoiles. Tout cela permet d'avoir des buts scientifiques précis utilisant les références ainsi construites.

1. Les buts de l'astrométrie

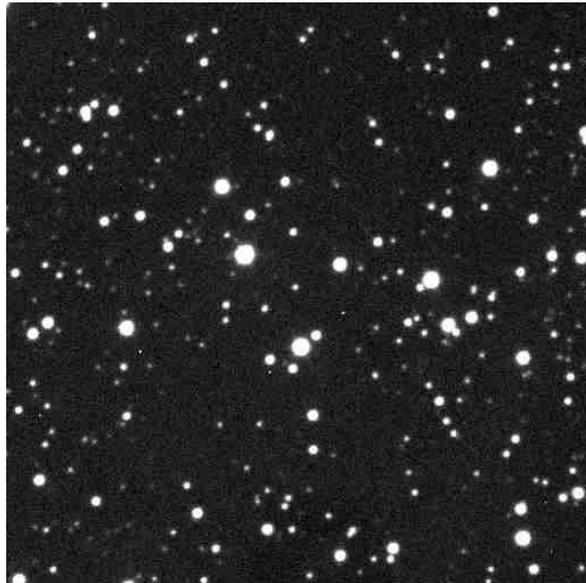
Le premier but a été et reste la mesure des distances dans l'univers principalement grâce à la parallaxe qui «déplace» les objets en fonction du mouvement de l'observateur. Plus on va loin, plus la précision doit être grande. Si la précision actuelle est suffisante pour des objets proches (la Lune bien entendu), ce n'est pas le cas pour les objets lointains (galaxies). Ainsi, la précision actuelle ne permet de voir notre galaxie en relief que dans le proche environnement du Soleil (précision angulaire de l'ordre du millième de seconde de degré). L'arrivée du satellite astrométrique *Gaia* va nous fournir une précision de l'ordre du dix millionième de seconde de degré (une amélioration d'un facteur cent par rapport à son prédécesseur, le satellite Hipparcos!) et ainsi nous permettre de voir une bonne partie de notre galaxie en trois dimensions. Mais, en ce qui concerne les galaxies lointaines ou les planètes extra-solaires, une précision supérieure associée à une meilleure résolution est encore souhaitable.

Le second but de l'astrométrie est la modélisation des mouvements dans le système solaire, dans la galaxie et dans l'univers. Avec une faible précision d'observation les planètes ont un mouvement circulaire uniforme autour du Soleil; avec une meilleure précision (par exemple, repensons aux observations de Tycho Brahé analysées par Kepler au début du XVII^e siècle) elles ont un mouvement elliptique non uniforme. De même avec une faible précision, étoiles et galaxies sont fixes mais avec

plus de précision, une dynamique galactique se découvre.

2. La précision : toujours plus ?

La précision astrométrique va dépendre aussi bien de la technique accessible à une époque donnée que d'un besoin nécessaire pour comprendre ou construire une modélisation des mouvements célestes. Ainsi, entre Hipparque (vers 150 avant J.C.) et Tycho Brahé (au XVI^e siècle) l'astrométrie ne va pas progresser. Le modèle de Ptolémée se contente d'une faible précision pour expliquer approximativement les mouvements célestes. Avec les observations de Tycho Brahé, Kepler va permettre la mise en place d'une modélisation du système solaire plus réaliste permettant de meilleures prédictions des phénomènes astronomiques. Les progrès vont ensuite être constants grâce au progrès technique et à l'utilisation de lunettes ou de télescopes augmentant la résolution et la précision de pointage. Au début du XX^e siècle, c'est une meilleure précision de mesure qui va confirmer la théorie de la relativité générale menant à l'abandon du modèle newtonien. Aujourd'hui, l'astrométrie moderne a une précision suffisante pour ne plus considérer les corps du système solaire comme ponctuels et réduits à leur centre de masse avec un besoin de modélisation dynamique et physique plus important.



Les images de l'astrométrie ne sont pas spectaculaires : détecter et modéliser les objets mobiles permet cependant de mieux connaître les corps étudiés

3. Quels objets observer ?

Aujourd'hui, les critères d'observation astrométrique ont changé. Quelle précision pour quels objets ? L'observation systématique des étoiles pour construire catalogues et systèmes de référence a bien diminué. L'arrivée proche du catalogue Gaia va rendre inutile toute observation astrométrique d'étoiles au sol pour longtemps. Pour les objets du système solaire, leur mouvement rapide nécessite des observations continues. Dans le cas de la recherche de nouveaux objets (astéroïdes, comètes),

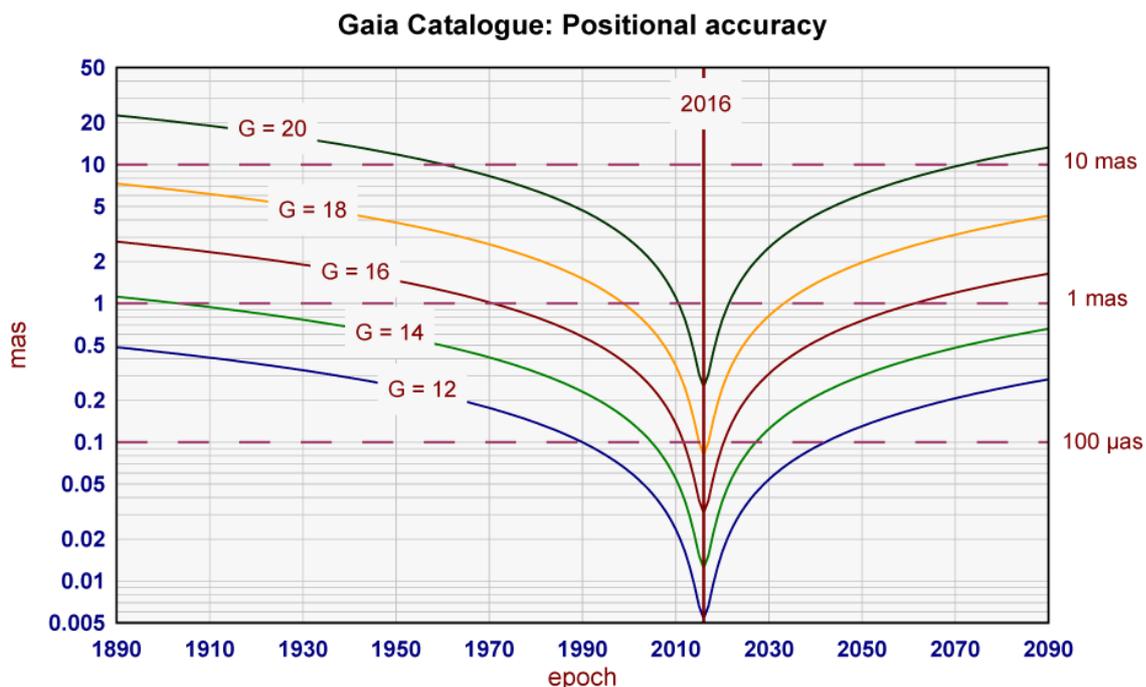
des télescopes automatiques à grand champ et faible précision sont suffisants. Pour des objets mieux connus dont on cherche à connaître l'évolution à court ou moyen terme, une précision maximale reste nécessaire.

4. Avec quels instruments ?

Tous les instruments de l'astrométrie doivent aujourd'hui être complémentaire des techniques spatiales : du satellite Gaia qui va fournir les positions d'un milliard d'étoiles avec une précision comprise entre 0,1 et 0,001 millièmes de seconde de degré et des sondes spatiales d'exploration du système solaire qui envoient les positions des objets visités avec une précision in situ de quelques kilomètres ou même de quelques mètres. Dans le cas de la Lune, les observations laser sur les réflecteurs déposés à la surface de l'astre ont une précision de l'ordre du centimètre et restent incontournables. Il ne faut pas oublier les sources lointaines observables en radio-interférométrie (VLBI) aidant à la réalisation des repères de référence du fait de leur position considérée comme fixe. Les télescopes au sol sont limités par la turbulence atmosphérique et la précision des observations est limitée par les étoiles de référence utilisée ainsi que par la nature non ponctuelle des objets du système solaire. C'est la position du centre de masse que l'on doit observer mais c'est la position du centre de lumière que l'on observe. Le passage de l'un à l'autre est l'un des défis actuels de l'astrométrie du système solaire. Au final, les instruments au sol, très disponibles pour des coûts limités restent essentiels pour l'observation des objets qui évoluent rapidement, nécessitant un suivi permanent.

5. Observer dans le passé

L'arrivée prochaine du catalogue de référence du satellite Gaia va permettre d'améliorer l'astrométrie au sol grâce à la précision des références. Outre la précision en position, Gaia va fournir une précision inégalée dans le mouvement propre des étoiles. La modélisation de ce mouvement va aller bien au-delà d'une simple modélisation linéaire. Contrairement aux catalogues d'étoiles actuels dont la précision se dégrade rapidement dès que l'on s'éloigne de la date de création du catalogue, le catalogue Gaia va conserver une précision de l'ordre de quelques millièmes de seconde de degré pendant plus d'un siècle nous ouvrant un nouveau champ d'investigation, l'observation dans le passé. Une nouvelle analyse des observations réalisées avec une faible précision due à la mauvaise qualité des catalogues permettra d'obtenir des observations dans le passé avec la précision d'aujourd'hui. Dans ce but, un travail d'inventaire et de numérisation des plaques photographiques réalisées depuis la fin du XIX^e siècle est en cours. Leur analyse permettra de mieux modéliser les phénomènes rapides cumulatifs sur quelques décennies.



La précision du catalogue Gaia dans le passé et dans l'avenir : quelques millièmes de seconde de degré après un siècle pour les étoiles jusqu'à la magnitude 16.

6. L'avenir de l'astrométrie

Comment envisager l'astrométrie à plus long terme ? La progression de la précision n'est pas une fin en soi. Au fur et à mesure des progrès, les cibles et les buts changent. Après la mécanique céleste, la planétologie a besoin d'une astrométrie précise. Après les étoiles, le système solaire ; et après le système solaire, les systèmes extra-solaires. Le laser, la radio-science, le radar donnent des mesures de haute précision complémentaires des longues séries faites avec les télescopes classiques. L'astrométrie du système solaire attend maintenant de disposer en permanence de sondes en orbite ou au sol pour chacune des planètes du système solaire. Ce but est loin d'être atteint et l'astrométrie au sol a encore un avenir. Concernant les planètes extra-solaires, il faut augmenter sensibilité et résolution des télescopes : l'interférométrie dans l'espace est sans doute la solution.