

À LA RECHERCHE DE LA PARALLAXE SOLAIRE (11/11)

## Parallaxe solaire et unité astronomique aujourd'hui : d'une convention à l'autre

De nos jours la parallaxe solaire n'est plus mesurée. Sa valeur découle directement de celle de l'unité astronomique (ua) puisque la parallaxe solaire est définie comme étant l'angle sous lequel est vu un rayon équatorial terrestre à la distance d'une unité astronomique. Mais au fait qu'est-ce que l'unité astronomique ? Elle est communément admise comme étant la distance moyenne Terre-Soleil. Ce n'est pourtant pas le cas. Ce n'est d'ailleurs pas une *définition* qui la fixe mais une *convention*. La différence est subtile mais intéressante à comprendre.

Remontons quelque peu le temps jusqu'à la XVI<sup>e</sup> assemblée générale de 1976 de l'Union astronomique internationale (UAI) à Brighton. L'unité astronomique est définie comme suit :

**« L'unité astronomique de longueur est cette longueur pour laquelle la constante gravitationnelle gaussienne ( $k$ ) prend la valeur de 0,01720209895 quand les unités de mesure sont l'unité astronomique de longueur, de masse et de temps. »**

Ou, ce qui revient au même :

**L'ua est « le rayon d'une orbite newtonienne non perturbée autour du Soleil d'une particule ayant une masse infinitésimale, se déplaçant à une vitesse angulaire de 0,01720209895 radian par jour. »**

Convenons que cette définition est quelque peu abstruse au premier abord. Elle plonge ses racines dans un ouvrage de 1809, le *theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium* de Carl Friedrich Gauss (1777-1855), surnommé le « prince des mathématiciens ». Gauss introduit l'unité astronomique à partir de la troisième loi de Kepler :

$$n^2 a^3 = k^2 M$$

Où  $n$  est le moyen mouvement égal à  $2\pi/P$ ,  $P$  étant la période orbitale comptée en jours de 86400 secondes;  $a$  est le demi-grand axe exprimé en ua,  $k$  est la constante de Gauss telle que  $k^2 = GM_{\odot}$  où  $G$  est la constante gravitationnelle et  $M_{\odot}$  la masse du Soleil prise égale à 1 (c'est l'unité de masse),  $M$  la masse totale du système exprimée en unités de masses solaires. Gauss calcule alors la valeur de la constante  $k$  à

partir des valeurs du rapport de masse du système Terre-Lune/Soleil et de l'année sidérale telles qu'elles étaient connues à son époque. On avait alors  $P = 365,2563835$  jours. Le rapport de masse entre le système Terre-Lune et le Soleil était estimé à  $1/354710$ , ce qui donnait une valeur  $M = 1 + 1/354710$ . Le demi-grand axe était pris égal à exactement 1 ua, de sorte que la valeur de  $k$  s'en déduisait immédiatement :  $k = 0,01720209895$ . Par la suite, afin d'éviter de recalculer la valeur de  $k$  chaque fois que l'on disposait d'une nouvelle détermination du rapport de masse et de l'année sidérale, l'habitude fut prise de la considérer comme fixe. Cette habitude transforma ainsi la *définition* de l'unité astronomique en une *convention*, tacitement admise et officialisée seulement en 1938 ! Par convention, l'unité astronomique n'était donc plus la distance moyenne Terre-Soleil, elle correspondait au rayon d'une orbite circulaire non perturbée autour du Soleil d'une particule sans masse ( $M = 1$ ) dont la période est de 365,2568983 jours, période que l'on appelle également *année gaussienne*. On remarque que dans ce cas  $n = k$ , puisque  $M = 1$  et  $a = 1$ . La constante de gauss est par conséquent la valeur du moyen mouvement, exprimé en radians par seconde, d'un corps sans masse orbitant à une distance du Soleil d'exactly 1 ua. On retrouve les deux définitions adoptées lors de l'assemblée générale de l'UAI de 1976. On abandonne donc la mesure de la distance pour une convention définie par une période. Avec cette convention, le demi-grand axe de l'orbite terrestre vaut exactement 1,00000011 ua.

Il ne reste plus qu'à exprimer cette unité astronomique dans l'unité de longueur du système international, c'est-à-dire le mètre. La valeur de l'ua en mètre va alors dépendre des théories du mouvement et des observations utilisées. En 1976 sa valeur était fixée à 149 597,870 km à 10 km près (ou une parallaxe solaire de 8,794"). L'unité astronomique ne figurait plus au rang des constantes primaires ; elle avait été supplantée par le temps de lumière mis par la lumière pour parcourir la distance d'une ua, soit 499,004782 s avec une vitesse de la lumière fixée à 299 792,458 km/s.

Pour les puristes uniquement, signalons au passage une autre erreur qui est régulièrement commise à propos du demi-grand axe de l'orbite terrestre : le demi-grand axe n'est pas égal à la distance moyenne de la Terre au Soleil. Dans l'absolu, l'expression même de « distance moyenne » n'a de sens que si l'on n'indique par rapport à quelle variable est calculée cette distance moyenne. Est-ce par rapport à l'anomalie vraie, l'anomalie excentrique, l'anomalie moyenne, le temps ? Cependant, l'usage consacre le temps – ou la longitude moyenne, ce qui revient au même. Dans ce cas, la distance moyenne est égale à  $a(1 + e^2/2)$  où  $e$  est l'excentricité de l'orbite; elle est donc plus grande que le demi-grand axe. Cela peut se comprendre intuitivement si l'on considère le fait que durant le parcours d'une orbite complète, un corps passera plus de temps au voisinage de son aphélie (lieu de son orbite le plus éloigné du Soleil) qu'au voisinage de son périhélie (lieu de l'orbite le plus proche du Soleil). L'excentricité de l'orbite terrestre est  $e = 0.01671022$ , de sorte que sa valeur moyenne est donc de 1,00013972574158 ua.

Que ce soit par les passages de Vénus, les conjonctions de Mars, les rapprochements des petites planètes ou le temps de parcours d'une onde électromagnétique, la détermination de l'ua est toujours passée par la comparaison entre une certaine distance mesurée en kilomètres et sa valeur exprimée en ua donnée par une éphéméride. Les éphémérides modernes constituent, pour reprendre une rhétorique chère aux savants du XIX<sup>e</sup> siècle, le « monument » le plus abouti de l'astronomie. Les meilleures éphémérides actuelles

sont ajustées à des données couvrant la période 1911-2002, cela représente un peu plus d'un demi-million d'observations de tout type (quadrants, télescopes, micromètres, plaques photographiques, cercles méridiens, micromètres impersonnels, horloges atomiques, radiotélescopes, sondes spatiales, VLBI, radar, etc.). La plus grande part de l'incertitude résiduelle ne provient que de la méconnaissance de la masse des astéroïdes peuplant le système solaire ! L'unité astronomique n'est donc plus que le résultat de l'ajustement du plus gigantesque système dynamique d'équations jamais imaginé. C'est ainsi la modélisation de la dynamique de l'ensemble du système solaire, ajusté sur plus d'un demi-million d'observations, qui aura permis à E. Pitjeva et M. Standish d'obtenir en 2009 une détermination de l'ua à seulement 3 mètres près. Le sommet est atteint, tant est si bien qu'on en fixe maintenant sa hauteur par convention. En effet, l'UAI, lors de sa XXVIII<sup>e</sup> assemblée générale à Pékin en 2012, adopta comme valeur définitive de l'unité astronomique la mesure de 2009 : 149 597 870 700 m exactement. L'unité astronomique est ainsi fixée, gravée dans le marbre, par convention. Ce qui donne une parallaxe solaire de 8,794142873". La constante de Gauss ne joue plus aucun rôle, elle est effacée des tablettes des constantes astronomiques primaires. Il n'y aura plus de détermination expérimentale de la valeur en mètres de l'ua. Seul le paramètre  $GM_{\odot}$  sera déterminé expérimentalement. Il n'y a plus de dépendance à l'égard des théories du mouvement. Cela élimine également une éventuelle variation temporelle liée à la variation de la masse du Soleil. Il n'y donc plus de *définition* de l'unité astronomique. Ne dites plus qu'elle est égale à la distance moyenne Terre-Soleil, vous seriez deux fois dans l'erreur (voir plus haut pourquoi). Bien sûr, tout a été fait pour que la transition définition/convention se passe en douceur, mais dès maintenant dites plutôt que « **par convention, depuis 2012, l'unité astronomique est fixée à la valeur exacte de 149 milliards 597 millions 870 mille 700 mètres.** »

Ainsi s'achève l'histoire de la détermination de la parallaxe solaire et de l'unité astronomique.