

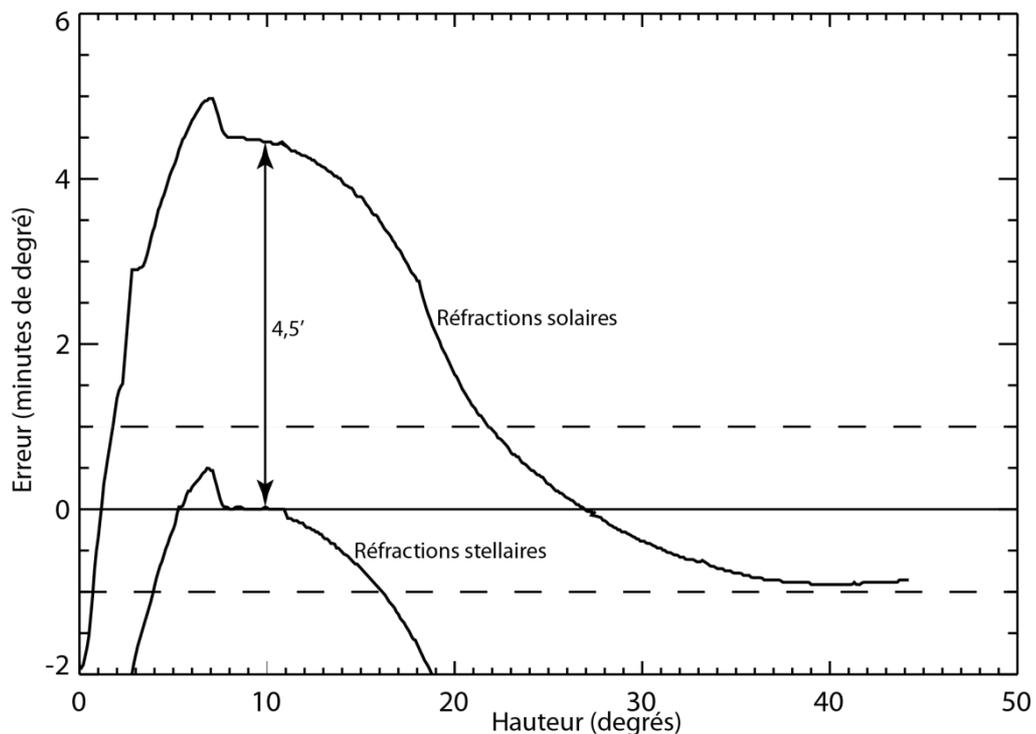
## À LA RECHERCHE DE LA PARALLAXE SOLAIRE (4/11)

### L'observation cruciale de Cassini

La position d'un astre du ciel se repère sur une sphère imaginaire – appelée *sphère céleste* – dont le centre coïncide avec le centre de la Terre. Or, cette position, repérée par deux angles, ne peut être observée que depuis la surface de la Terre, et non depuis son centre, bien évidemment. Il est donc nécessaire d'opérer une correction dite « de parallaxe » pour transformer la position observée en une position rapportée au centre de la sphère terrestre (ou céleste). Cette correction se présente sous la forme d'une petite quantité angulaire. Elle est nulle lorsque l'astre est vu au zénith du lieu : dans ce cas, vues depuis l'astre, les positions de l'observateur et du centre de la Terre apparaissent alors confondues, il n'y a donc aucune correction angulaire pour passer de l'observateur au centre de la Terre. Elle est maximale par contre lorsque l'astre est à l'horizon : en effet, l'écart angulaire vu depuis l'astre entre la position de l'observateur et celle du centre de la Terre est égal à l'angle sous-tendu par le rayon terrestre. Remarquons que dans le cas où l'astre considéré est le Soleil, cet angle est précisément la parallaxe solaire (voir LI#97) que nous cherchons à déterminer. Cela signifie par conséquent que l'observation de la position du Soleil dans le ciel nécessite la connaissance de la parallaxe solaire pour en déterminer sa position par rapport au centre de la Terre, indépendamment du lieu où il a été observé sur Terre. Ceci est indispensable pour établir la « théorie du Soleil », c'est-à-dire le mouvement de la Terre – de son centre en réalité – autour du [centre du] Soleil.

De tout temps, les astronomes ont effectué cette correction, la première des corrections. Sa grandeur décroît à mesure que l'astre considéré est éloigné de la Terre ; elle est sensible pour la Lune et le Soleil et pratiquement négligeable pour les étoiles lointaines. Lorsque Tycho Brahé vers la fin du XVI<sup>e</sup> siècle s'est attaché à remesurer le ciel avec une précision jamais atteinte auparavant (voir LI#88), par la détermination des positions du Soleil et des étoiles sur la sphère céleste, la parallaxe solaire qu'il avait adoptée était l'antique valeur de 3' de degré (voir LI#98). Il y a cependant une autre correction à apporter, celle de la réfraction atmosphérique qui courbe vers le sol les rayons lumineux venant de l'espace. Cette correction, en revanche, n'a jamais été effectuée et Tycho sera le premier à l'appliquer. Alors que l'effet de parallaxe abaisse artificiellement la hauteur d'un astre sur l'horizon, celui de la réfraction rehausse celle-ci. Les effets se contrarient l'un l'autre même si tous deux sont nuls au zénith. Mais comment les connaître ? Comment les séparer ? Ils ne diffèrent que par leur grandeur, et leur signe, mais s'exercent selon une même direction, celle de la hauteur verticale de l'astre. Réussir à les séparer, dans le cas d'observations du Soleil, ouvrirait un accès détourné vers la vraie valeur de

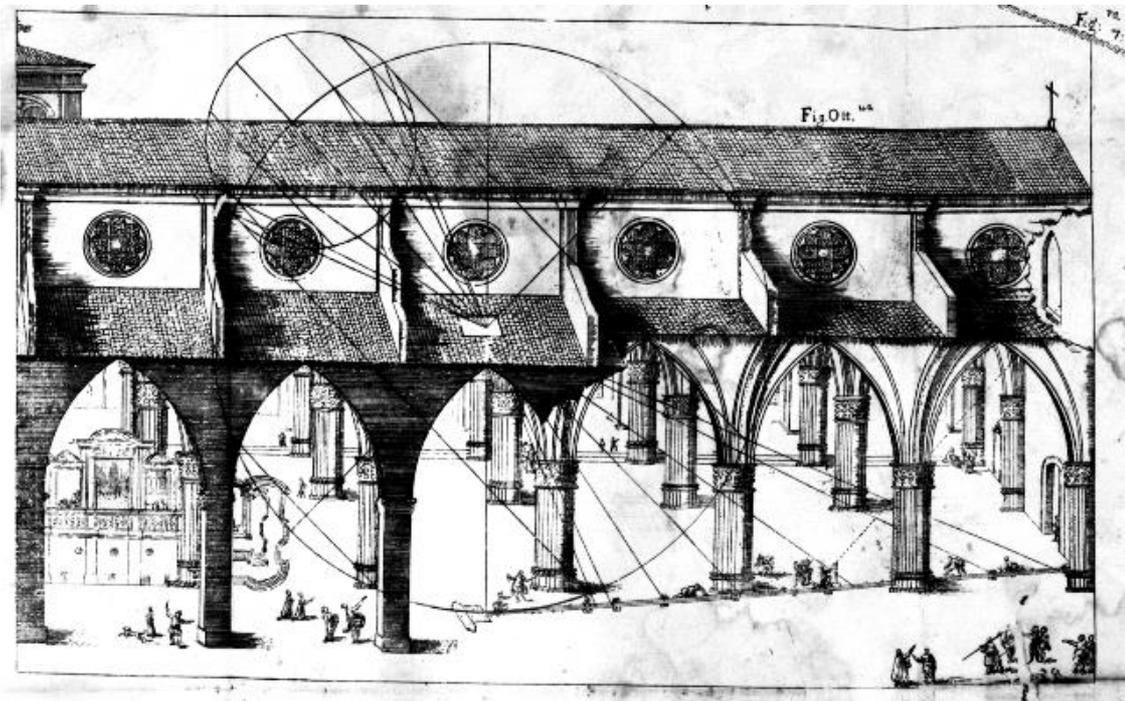
la parallaxe solaire. Tycho réussira à construire des tables de réfractions, trois en tout, une pour la Lune, une pour le Soleil et une pour les étoiles fixes. Pourquoi trois tables alors que la réfraction est provoquée par la seule atmosphère terrestre ? Tout simplement parce que Tycho a adopté une parallaxe solaire de 3' là où elle est en réalité vingt fois plus faible ! De ce fait, faisant l'effet de parallaxe si fort pour le Soleil, il ne pouvait qu'en déduire un effet de réfraction, pour une même hauteur, plus faible pour le Soleil que pour une étoile fixe pour laquelle il n'y avait aucune parallaxe sensible. Il conclut également que toute réfraction cessait au-delà de 20° de hauteur pour les étoiles fixes, et de 45° pour le Soleil. Cependant, quand il compare entre elles ses tables de réfraction, il note bien un excès systématique des réfractions solaires – de l'ordre de 4,5' pour chaque hauteur et jusque 20° de hauteur – sur celles des étoiles fixes (Fig.1). Qu'à cela ne tienne, n'en comprenant pas l'origine – ou refusant d'en comprendre l'origine – Tycho trouve la solution : ôter 4,5' aux réfractions solaires pour chaque hauteur !



**Fig.1 :** Erreurs sur les corrections de réfraction adoptées par Tycho Brahé. Les réfractions pour le Soleil présentent un écart systématique de 4,5' avec les réfractions pour les étoiles fixes jusqu'à une hauteur de 20°. Les erreurs de Tycho sur les réfractions sont inférieures à 1' de degré pour les étoiles fixes pour des hauteurs comprises entre 3 et 16°. Pour le Soleil, il faut aller à des hauteurs supérieures à 28°.

Kepler note cette anomalie mais c'est son ami et correspondant, Johannes Remus Quietanus, physicien impérial, qui le premier va remarquer que l'on pourrait se contenter d'une seule et unique table, indépendante du corps considéré, à la condition de faire la parallaxe beaucoup plus petite qu'elle n'était. Bien qu'informé de cette suggestion, Kepler, qui s'est déjà attaqué à la question de la réfraction atmosphérique dans son *Astronomical Optica* de 1604 en établissant sa propre table des réfractions, s'en remettra pourtant à celle de Tycho au moment de publier ses *Tables Rudolphines* en 1627.

Un demi-siècle plus tard, l'idée de Remus revient sur le devant de la scène avec un jeune astronome italien professeur d'astronomie à l'université de Bologne, Jean-Dominique Cassini (1625-1712). Ses travaux sur la théorie du Soleil réalisés en 1655 à partir de ses observations menées sur la grande ligne méridienne de l'église San Petronio (Fig.2), dont il a lui-même procédé à la restauration, le convainquent d'adopter une parallaxe solaire inférieure à 12" de façon à obtenir une unique table des réfractions qu'il publiera en 1662. En fait, elle était bien unique pour tous les astres mais triple selon la saison de l'année : l'été, l'hiver et les équinoxes. Jamais Cassini ne s'est référé à Remus, sans doute n'en a-t-il pas eu connaissance. Toutefois, cette parallaxe n'est encore que supposition, pure déduction logique issue d'un souci de cohérence et de simplicité. Pour Cassini, cela ne peut suffire. C'est pourquoi, après son arrivée à l'Observatoire de Paris en avril 1671, il va très vite concevoir ce que Francis Bacon (1561-1626) avait qualifié d'*expérience cruciale* (*instantia crucis* ou *experimentum crucis* selon l'expression de Robert Hooke (1635-1703)), une expérience décisive qui, devant deux hypothèses en présence, serait susceptible d'en écarter une pour rendre compte d'un phénomène et conserver l'autre de façon indiscutable. En l'occurrence, dans le cas présent, il va plutôt s'agir d'une *observation cruciale* qui va se dérouler sous le Soleil de Cayenne.

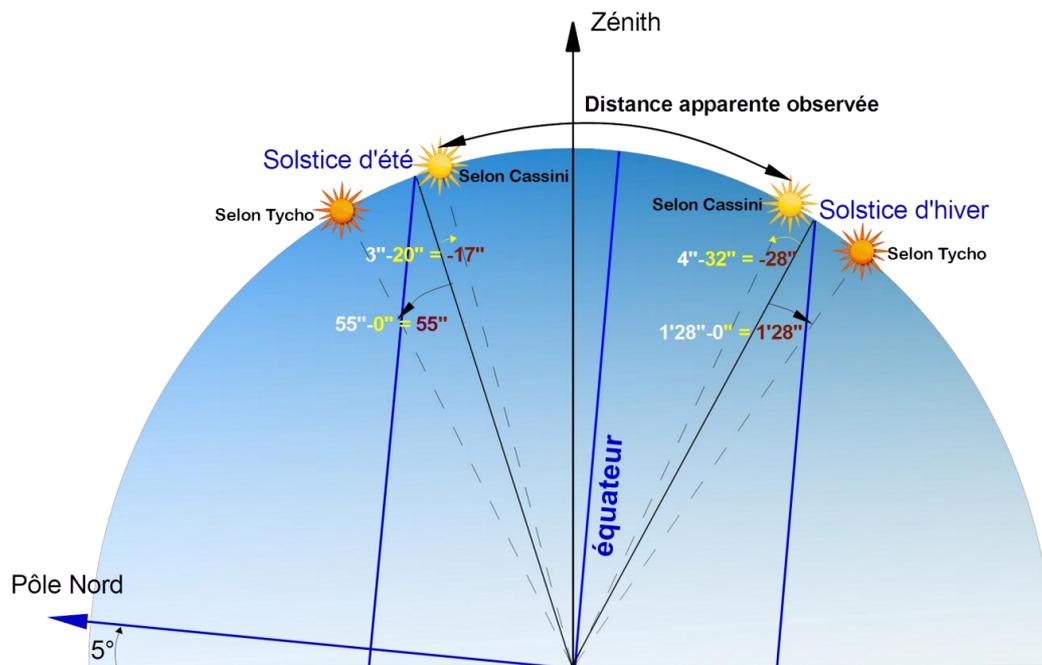


**Fig.2 :** Dessin de Cassini du tracé de la ligne méridienne de la basilique San Petronio de Bologne

Cassini sait qu'à la latitude presque équatoriale de Cayenne ( $4^{\circ}56'12''$ ), la hauteur méridienne du Soleil aux solstices ne peut jamais être inférieure à  $60^{\circ}$ . Or, selon Tycho Brahé, il n'y a plus de réfraction à cette hauteur, mais seulement un effet de parallaxe. Mais, selon Cassini, il y a une réfraction qui doit élever davantage le Soleil que la parallaxe ne doit l'abaisser. Dit autrement, le Soleil de Cayenne selon Tycho doit être plus bas dans le ciel que selon Cassini (Fig.3). C'est le phénomène que Cassini se propose de mesurer à Cayenne afin de confronter les deux hypothèses, celle des *tychoniciens* – réfraction nulle et parallaxe solaire de 3' - et la sienne

– réfraction sensible (voir LI#83) et parallaxe solaire inférieure à 12". Pour ce faire, il va faire mesurer par Jean Richer (1630-1696), envoyé à Cayenne à l'occasion de la grande opposition de Mars de septembre 1672, la distance angulaire entre les deux positions solsticiales méridiennes du Soleil, quantité égale au double de l'*obliquité de l'écliptique* qui mesure l'inclinaison du plan équatorial terrestre sur son plan orbital (appelé *écliptique*). Cette mesure angulaire sera ensuite comparée à une valeur de référence de l'obliquité qu'il a lui-même déterminée par d'autres moyens égale à 23°29'0" et publiée dans ses éphémérides de 1663. Selon ces éphémérides, la véritable distance des tropiques est donc de 46°58'. Par conséquent, selon Cassini, la distance observée entre les deux solstices doit être moindre que cette valeur de référence, alors que, selon Tycho, elle doit être au contraire plus grande. Telle est l'observation cruciale de Cassini.

La différence angulaire entre les deux distances, celle de Cassini et celle de Tycho, devait être de 3' de degré, quantité qui est tout à fait à la portée des instruments de l'époque. Cassini avait annoncé une distance des tropiques de 46°57'15", selon ses propres hypothèses, et de 46°59' selon celles de Tycho. Richer mesura 46°57'04". Le Soleil de Cayenne donna donc raison à Cassini contre Tycho. Il était enfin démontré de façon irréfutable que la parallaxe solaire ne pouvait être plus grande que 12" de degré. CQFD.



**Fig.3 :** Coupe méridienne locale de la sphère céleste à Cayenne de latitude  $\sim 5^\circ$ . Dans le calcul de la distance apparente entre les positions solsticiales méridiennes du Soleil, l'effet de la réfraction (en jaune) tend à élever l'astre par rapport à sa position vraie tandis que l'effet de parallaxe (en blanc) tend à l'abaisser. Les valeurs résultantes de ces effets contraires sont données en rouge pour chacune des hypothèses en présence, celle de Cassini (réfraction sensible jusqu'au zénith et parallaxe solaire de 12'') et celle de Tycho (réfraction nulle au-dessus de 45° de hauteur et parallaxe solaire de 3'). L'écart entre les deux distances est de 3', par conséquent parfaitement détectables avec un instrument divisé du type secteur zénithal. Les réfractions de Cassini sont calculées selon sa propre loi  $\rho = 58.29''\tan(z)$ , quant à la correction de parallaxe, elle vaut  $\rho = p_0\sin(z)$  où  $z$  est la distance zénithale ( $z=90^\circ-h$ ) et  $p_0$  la parallaxe solaire. Les corrections sont exagérées sur la figure de manière à les rendre visibles.