

## LA BONNE ETOILE DE JAMES BRADLEY

Transportons nous par la pensée en Angleterre au début du XVIII<sup>ème</sup> siècle. Depuis presque deux mille ans, les astronomes connaissent le phénomène de la précession des équinoxes. Mais, depuis un siècle, changement profond de perspective. On sait, après Kepler, selon quelles lois les planètes décrivent leurs orbites elliptiques autour du Soleil. Galilée, Huygens et Cassini ont découvert les satellites de Jupiter et de Saturne avec ses mystérieux anneaux. Enfin Newton a parachevé la description du système solaire en fournissant une loi explicative des mouvements y compris cette précession : l'attraction du Soleil et de la Lune sur un supposé renflement de la Terre à l'équateur entraîne cette lente variation de l'axe de rotation terrestre dont la précession de l'équinoxe est en quelque sorte la manifestation annuelle.

D'autre part, le siècle qui vient de s'écouler a vu bien des inventions et perfectionnements, la lunette astronomique, le télescope, l'oculaire de Huygens, le micromètre à fils de Auzout, Crabtree et Gascoigne, l'utilisation de la lunette en géodésie grâce à la triangulation de Snellius. Enfin le perfectionnement des horloges par Huygens a permis à Römer de concevoir l'instrument méridien, l'instrument de base de l'astrométrie moderne.

Quelles peuvent être, dans ces conditions, les préoccupations principales des astronomes de l'époque ?

En France, l'Académie des Sciences agitée par la grande querelle des newtoniens et des cartésiens (l'attraction universelle ou les tourbillons), organisera pour les départager, les expéditions de Laponie et du Pérou. L'hypothèse newtonienne du renflement équatorial de la Terre se trouvera ainsi vérifiée.

En Angleterre, on restera fidèle à l'orientation des travaux astronomiques préconisée par Flamsteed lors de la fondation de l'Observatoire de Greenwich : améliorer la détermination des coordonnées équatoriales des étoiles en tirant tout le profit du perfectionnement des instruments. Peut-être même affiner suffisamment ces déterminations pour mettre en évidence leurs variations annuelles, autrement dit mettre en évidence l'existence de parallaxes annuelles au moins pour les étoiles les plus proches. Ambition légitime. L'histoire montrera que cette mesure était hors de la portée des instruments de l'époque, d'autant qu'on ignorait encore tout des mouvements propres d'étoiles. Mais il fut beau de tenter l'impossible puisque, comme je vais essayer de le montrer, cette audace permit à James Bradley, faute d'atteindre le but qu'il s'était fixé, de faire deux importantes découvertes.

Cependant, pour mieux comprendre les difficultés qu'il allait rencontrer et les raisons de son fructueux échec, revenons en arrière pour suivre Hipparque, deux siècles avant notre ère, et comprendre comment il découvrit la précession des équinoxes.

Du côté de chez Hipparque

---

Comment les anciens repéraient-ils les astres ? Bien sûr, ils ne disposaient pas de l'instrument méridien. Voici comment ils opéraient, dans la description qu'en donne André Danjon, à la page 79 de son "Astronomie générale" :

"Les Anciens ne déterminaient pas les positions absolues des étoiles à l'aide d'observations méridiennes. puisqu'ils ne possédaient pas d'horloges ; mais ils pouvaient, en mesurant des distances angulaires, rattacher une étoile au Soleil en prenant comme repère intermédiaire la

Lune ou la planète Vénus. Le rattachement de l'étoile à la Lune ou à la planète Vénus se faisait la nuit ou dans le crépuscule tandis que le rattachement de l'astre intermédiaire au Soleil se faisait le jour, compte tenu, cela va de soi, des déplacements survenus dans l'intervalle. Timocharis, puis Hipparque mirent en pratique l'ingénieuse variante de cette méthode que l'on va décrire.

Au cours d'une éclipse de Lune, le centre de l'ombre de la Terre occupe le point de l'écliptique diamétralement opposé au Soleil ; sa longitude  $l_0 + 180^\circ$  est donc connue, si, comme c'était le cas des astronomes alexandrins, on possède une table du mouvement du Soleil. On conçoit que des mesures de distances angulaires faites au cours d'une éclipse de Lune permettent de déterminer la longitude céleste d'une étoile voisine de l'écliptique, en rattachant cette étoile au centre de l'ombre. Timocharis trouva ainsi  $172^\circ$  pour la longitude céleste de l'Epi de la Vierge, vers l'an 273 avant notre ère, tandis que, vers l'an 129 avant notre ère, Hipparque trouva  $174^\circ$ . Il en conclut à un déplacement relatif de l'équinoxe de  $2^\circ$  en 144 ans dans le sens rétrograde, par rapport aux étoiles. La longitude céleste de la même étoile était de  $203^\circ 8'$  en 1950,0 soit une variation de  $31^\circ$  en 2222 ans ou de  $50'',2$  par an en moyenne."

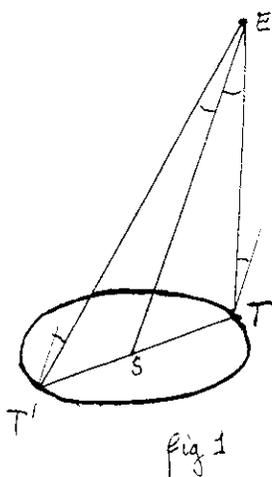
On comprend ainsi que sans lunette et sans horloge, Hipparque ait pu faire une découverte aussi importante et réussir une détermination aussi précise. Revenons maintenant en Angleterre à l'époque de Newton.

Du côté de Greenwich

===== Dès que Flamsteed obtient du roi d'Angleterre la fondation de l'observatoire de Greenwich, il se fixe un vaste programme de détermination des coordonnées équatoriales des étoiles. Selon des règles qui seront rigoureusement appliquées et feront la réputation incontestée de l'Observatoire tout au long des siècles suivants.

Flamsteed et ses aides disposent de l'instrument des transits, une lunette mobile dans le seul plan méridien (son axe est orienté Est-Ouest) associée à une horloge en temps sidéral. L'oculaire de la lunette est muni d'un micromètre à fil mobile. On applique la méthode dite de l'oeil et de l'oreille : l'observateur suit le déplacement de l'astre avec le fil mobile du réticule, il signale à son assistant l'instant où le fil mobile coïncide avec le fil fixe ; c'est l'instant du passage inscrit entre les battements réguliers de l'horloge (plus tard le micromètre à fil mobile sera relié à une horloge enregistreuse) ; l'observateur note la hauteur de l'astre au moment du passage.

Notons en passant qu'à la même époque, Jean Picard, à Paris, entreprenait des déterminations semblables sur la Polaire. Elles furent malheureusement interrompues par sa mort et Cassini ainsi que ses collaborateurs étaient plus intéressés par l'observation des planètes que par ces austères déterminations astrométriques.



Austères, certes, mais indispensables si l'on veut disposer d'une carte du ciel fiable. Indispensable aussi pour tenter de mesurer la parallaxe annuelle d'une étoile et par conséquent obtenir une évaluation de sa distance. Rappelons le principe de cette mesure : puisque la Terre décrit une ellipse (très peu différente d'un cercle) autour du Soleil, à six mois d'intervalle, elle occupe deux positions diamétralement opposées sur son orbite (fig1); la direction d'une étoile SE est vue de T selon TE, de T' selon T'E ; en passant de T à T' la direction de l'étoile est donc modifiée d'un angle  $2\alpha$  ; la mesure de  $\alpha$  est appelée parallaxe annuelle de l'étoile E. Si  $a$  est la distance de la Terre au Soleil, on en déduit en principe la distance de l'étoile SE =  $a/\text{tg}\alpha$ .

On pouvait donc penser que la mesure de cet angle, tout en apportant une preuve observationnelle de la réalité du système héliocentrique, fournirait une première estimation d'une distance d'étoile. D'autant que les progrès dans la mesure de la parallaxe du Soleil avaient permis d'améliorer sensiblement la mesure de l'unité astronomique.

Nombreux furent donc les astronomes à tenter ces mesures. Hook, dès 1674, crut trouver une parallaxe de 15" pour une étoile du Dragon; c'était une erreur. Flamsteed, en 1689, n'eut pas plus de succès.

Pendant ce temps, Halley à Greenwich, La Hire et Cassini à Paris, comparaient les longitudes célestes données par Hipparque pour des étoiles du zodiaque avec les valeurs qu'ils mesuraient eux-mêmes. Ils en déduisaient une meilleure estimation de la précession annuelle soit 50" mais aucun résultat concernant les parallaxes stellaires. Halley trouva même un résultat déconcertant en comparant ses mesures avec les données de Hipparque pour les latitudes célestes de Sirius, de Aldébaran et d'Arcturus, il trouvait des différences qui ne pouvaient s'expliquer par une variation de l'obliquité de l'écliptique (celle-ci aurait entraîné accroissement des latitudes dans un hémisphère céleste, diminution correspondante dans l'autre - et ce n'était pas le cas). Halley dut en conclure qu'il venait de mettre en évidence des mouvements propres d'étoiles, ces astres réputés fixes. Notons en passant que Fontenelle, dans une conception du monde imprégnée de physique cartésienne - celle des tourbillons - avait peut-être pressenti le phénomène : "Comment les étoiles ne seraient-elles pas un peu flottantes dans ce grand liquide qui les contient, et qui est toujours en mouvement ?" On sait que ces mouvements propres stellaires joueront un grand rôle dans le choix des étoiles à parallaxes mesurables, mais ce sera beaucoup plus tard, en 1846, l'oeuvre de Bessel. En 1700, l'idée n'est pas mûre et l'instrumentation indispensable n'est pas encore disponible.

Pour réussir, là où Flamsteed a échoué, un astronome indépendant, Samuel Molyneux, installe dans sa propriété de Kew, près de Londres, un secteur zénithal de grand rayon (24 feet) orientable sur quelques degrés autour du zénith. Un jeune savant, James Bradley (1692-1762) qui depuis 1721 était professeur à l'Université d'Oxford, l'aide à préparer ses observations. Peu après le début de cette collaboration, Molyneux est appelé à de hautes fonctions auprès de l'amirauté britannique. Bradley se charge de poursuivre seul l'entreprise.

#### Du côté de Gamma Draconis

L'étoile Gamma du Dragon qui avait déjà été observée par Hook fut choisie par Molyneux et Bradley. On comprend facilement la raison de ce choix : à la latitude de Londres, l'étoile passe au méridien à moins de 7° du zénith, elle était donc observable avec leur instrument. Les observations zénithales présentaient d'autre part l'avantage d'échapper aux effets de la réfraction atmosphérique.

Les observations commencèrent en décembre 1725. Si la parallaxe était décelable, Bradley s'attendait à trouver l'étoile dans sa position la plus méridionale. Et bien, non, surprise, elle continua à s'éloigner dans cette direction jusqu'en mars 1726 ; son écart atteignait alors 20" par rapport à sa position moyenne ; et elle s'éloigna de 40" vers le nord jusqu'en septembre, pour s'écarter de nouveau vers le sud et retrouver un an plus tard, la première position observée.

Comment expliquer ce phénomène ? Il ne pouvait s'agir d'une parallaxe annuelle car celle-ci aurait donné un écart maximum vers le sud fin décembre lorsque la Terre est à son périhélie et redonner l'écart opposé en juillet lorsque la Terre est à son aphélie. D'autre part, il

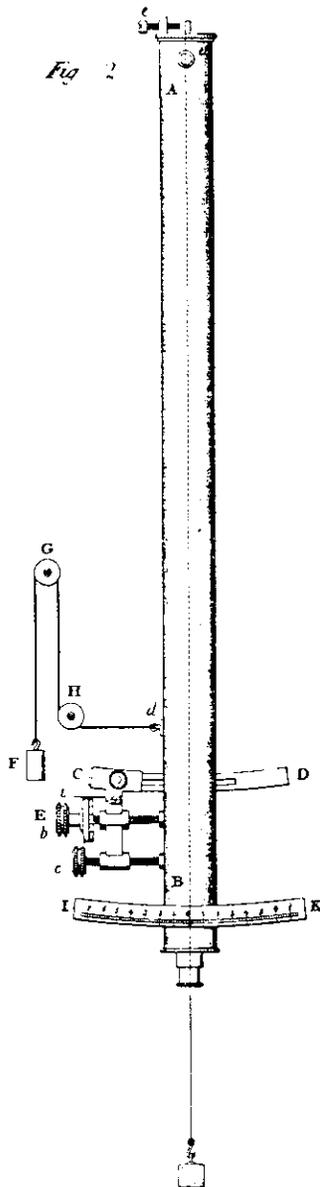


Fig 2

était douteux que le phénomène fut particulier à Gamma Draconis. Bradley s'en assura en étendant ses observations à d'autres étoiles avec un secteur plus petit (distance focale 3,8 m) mobile sur un plus grand angle ( $6^\circ$  de chaque côté du zénith). L'instrument construit par Graham, comportait un système de vis permettant le repérage de la direction visée à la précision de  $2''$  près. C'est cet instrument que représente la figure 2 reprise du livre "Lunettes et Télescopes" par A. Danjon et A. Couder. Bradley constata en effet que toutes les étoiles observées subissaient la même déviation périodique de  $20''$  d'amplitude.

En 1728, il trouva l'explication du phénomène, l'aberration de la lumière, pour reprendre sa propre expression. Nous pouvons la formuler dans notre langage : les photons en provenance de l'étoile nous parviennent à la vitesse de 300 000 km/s, ils sont reçus par la Terre qui se déplace autour du Soleil à la vitesse moyenne de 30 km/s. De même que la pluie qui tombe verticalement paraît glisser obliquement sur la vitre latérale d'une voiture en mouvement, il y a composition vectorielle des vitesses en direction. Vous retrouvez l'écart de  $20''$ .

La confusion entre effet de parallaxe et effet d'aberration de la lumière n'est pas possible. Pour une observation de l'étoile E à partir de la Terre T (fig 3), l'effet de parallaxe entraîne un écart de position dans la direction TS. Au contraire, l'effet d'aberration de la lumière s'obtient en composant le vecteur V de la vitesse de la Terre sur son orbite avec le vecteur vitesse de la lumière porté par ET et l'écart résultant avec la direction moyenne de l'étoile SE se situe donc dans une direction perpendiculaire à ST. Bradley ne s'y trompa pas.

Pour nous, la confusion est, peut-on dire, encore plus impossible. L'effet de parallaxe est d'autant plus faible que l'étoile est plus lointaine et nous savons depuis Bessel (1838, mesure de la parallaxe de 61 Cygni égale à  $0'',30$ ) qu'une parallaxe stellaire est toujours très inférieure à la seconde d'arc.

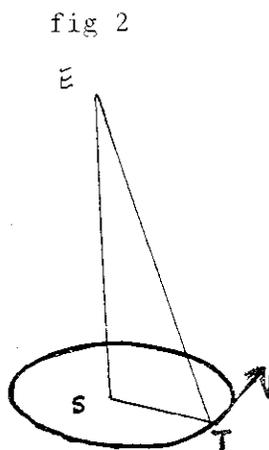


fig 2

fig 3

Au contraire, l'effet d'aberration a la même amplitude pour toutes les étoiles puisqu'il dépend seulement du mouvement de la Terre. Bradley le vérifia. Au cours de l'année chaque étoile paraît décrire une ellipse de demi grand axe  $20'',5$  et de demi petit axe  $20'',5 \sin b$  où  $b$  est la latitude céleste de l'étoile, cette ellipse étant décrite avec une phase décalée de trois mois (TV est perpendiculaire à ST, cf fig 3) par rapport au mouvement apparent du Soleil. Et cette observation apporte une preuve éclatante du mouvement héliocentrique de la Terre. Imaginez combien Copernic et Kepler se seraient réjouis de la connaître. L'histoire a voulu que cette preuve arrive plus tard, à une époque où le système héliocentrique n'était plus guère contesté. C'est pourtant la première preuve observationnelle de la réalité du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil.

Pour nous, qui venons après Bradley et Bessel, admirons la découverte et son analyse. Bradley n'avait pas réussi à mesurer une parallaxe stellaire, il aurait pourtant eu tort d'être déçu ; avec les instruments dont il disposait et alors qu'on soupçonnait à peine l'existence des mouvements propres stellaires, il ne pouvait déceler une parallaxe. Mais en tentant l'impossible, il sut découvrir ce qu'il ne soupçonnait pas. Belle leçon.

Gamma Draconis n'avait pas tout dit

Il était naturel qu'après avoir découvert l'aberration grâce à l'étoile Gamma du Dragon, Bradley continue à l'observer, ne serait-ce que pour vérifier l'effet découvert, de période annuelle, rappelons-le. Or il s'aperçut que, de 1727 à 1736 la position moyenne de l'étoile semblait la rapprocher du pôle céleste pour ensuite s'en éloigner. Cela méritait des observations suivies sur une longue période. Il lui paraît alors raisonnable d'interpréter ces changements par un déplacement périodique du pôle dont il conjecture que la période serait liée à la révolution des noeuds lunaires, soit 18 ans 224 jours. Il fait vérifier ses observations par Le Monnier et en 1745 il publie le résultat : la nutaton est une oscillation d'amplitude  $18''$  de l'axe de rotation terrestre et de période 18,6 années qui se superpose à la précession.

Quant à la liaison avec la révolution des noeuds de l'orbite lunaire, c'est d'Alembert qui l'établit peu après, confirmant ainsi l'intuition de Bradley.

Bonne étoile ou bon astronome ?

Les découvertes de James Bradley ont l'intérêt particulier de bien mettre en évidence le lien entre perfectionnement technique des moyens d'observation et progrès des connaissances. L'étape suivante le confirmera : Bessel réussira à mesurer une parallaxe stellaire grâce à l'héliomètre de précision réalisé par Fraunhofer. Mais, bien sûr, le raffinement des instruments est une chose, encore faut-il qu'à l'oculaire il y ait un oeil capable de comprendre ce qu'il voit...

Il y a aussi les hasards de l'Histoire. Quand le roi d'Angleterre décida la fondation de l'Observatoire de Greenwich, il était plus préoccupé par l'aide que l'astronomie pourrait apporter à la sécurité de la navigation, en particulier dans la détermination des longitudes, que par ce qu'elle apporterait dans la connaissance du monde stellaire. Molyneux aurait-il su, aussi bien que Bradley, interpréter l'observation de Gamma Draconis ? Fut-ce une chance pour l'astronomie que Molyneux soit appelé à l'Amirauté ? Y aurait-il donc eu une heureuse conjonction entre les besoins de la marine britannique et l'avenir de l'astronomie ?

K.Mizar