

Un projet du SYRTE-Observatoire de Paris
Observations, Mesures,
Incertitudes et Modèles

十一
圖

L'aspect historique:

Précision des mesures et mobilité des
astronomes, 16^e-19^e s.

Efthymios Nicolaidis

Axes de travail

- Comparaison de la précision de la mesure du temps : des mesures de Copernic aux pendules astronomiques des années 1830.
- Comparaison de la précision des tables astronomiques : des tables pruteniques aux tables du bureau des Longitudes (Laplace, Bouvard...)
- Comparaison de la précision des catalogues et cartes stellaires : de Copernic au catalogue d'Argelander (1835)
- Comparaison de la précision des instruments d'observation : des instruments de Copernic à la lunette de Fraunhofer utilisée par Struve.
- Il ne s'agit pas seulement de construire des tables comparatives mais aussi et surtout de voir l'évolution de la notion de précision dans les mentalités, les pratiques ainsi que ses aspects sociaux.
- « Le scientifique, en évoquant la précision, il ne donne pas seulement une description ; il émet un jugement de valeur. Sont considérés comme scientifiques les concepts, les lois ou les résultats conformes aux exigences de précision telles que définies à chaque époque par la communauté de spécialistes .» (A. Brenner, « La transformation des valeurs scientifiques au VIIe s. » dans Vincent Jullien et al. (eds), Europe et sciences modernes. Histoire d'un engendrement mutuel, Peter Lang, 2012.

La solution d'un problème de précision au 16^e siècle

- Wilhelm Misocacus, (c. 1512-1595) medicus et astrologus bruxellois se réfugie en 1568, pendant la guerre de 80 ans, à Gdansk. Le Sénat de la ville lui accorde une pension de 50 marks pour ses pronostiques annuels.
- Misocacus va publier des almanachs. Il calcule le moment d'entrée du soleil aux points cardinaux selon les tables « anciennes » (alphonsines) et « nouvelles » (pruténiques, les éphémérides de Michael Mästlin). La plus grande précision est nécessaire, car l'instant d'entrée du soleil au premier degré du signe du Bélier est celui de la « révolution de l'année » pour les astrologues. De sa détermination exacte dépendent les pronostiques astrologiques de toute l'année.
- Hors, Misocacus remarque une différence de 17 heures entre les deux méthodes de calcul. :
- « La différence est trop grande, et pour cela je n'ai pas l'intention de suivre les tables nouvelles mais de rester aux veilles certitudes ».

Préface (sans doute de Newton) au catalogue piraté des observations de Flamsteed, 1712

- La science physique dépend presque exclusivement la collection d'expériences minutieuses et claires (...) La théorie du mouvement des cieux, de loin la partie la plus importante de la physique, n'aurait jamais atteint le degré de perfection acquis à notre époque, si des observations précises des phénomènes, obtenues par des travailleurs habiles avec des instruments précis, ne nous fussent pas transmises.
- Physical science depends almost entirely on the collection of careful and clear experiments (..) The theory of the motions of the heavens, by far the most worthy part of physics, would not have reached the degree of perfection to which it has advanced in this present age, if accurate observations of phenomena, taken by skilled workers with accurate instruments, had not been faithfully transmitted to us.

John Flamsteed, *Historia Coelestis Britannica* (1725), Préface

- I have already show'd that Ptolemy's catalogue has the places of the Stars about one degree less than they ought to be. What other errors are in this method of determining the places of the Star (Spica Virginis), or any other that has been employ'd on the same account, may be seen in the 3rd, 4th and 5th Chapters of the 4th book of Riccioli's *Astronomia Reformata* (...)
- The All wise Archetect, I say, having raised up Copernicus to revive the true System of the Heavens, within less than a century after him, sent Tycho Brahe, a Noble Dane into the World with a Spirit fitted for this purpose, who applying himself in his very Youth to the Study of Astronomy, soon found the great errors of the Alphonsine Tables, founded on the Hypothesis of Ptolemy, and the much nearer argument of the Copernican and Prutenick.

John Flamsteed, *Historia Coelestis Britannica* (1725), Préface

- “About Autumn of 1671 I started to measure the minute distances in the sky, at Derby, with a telescope 15 feet long, used in conjunction with Towneley’s instrument the micrometer. With these, I soon discovered that not only the system commonly accepted for the Moon, but also the positions of the fixed stars in Tycho’s catalogue, were inaccurate and full of errors. (...) Tycho’s positions of the fixed stars very often erred by three, four or even five minutes, and the positions of the Moon – even those calculated from the best tables – were false by 5, 10, 15 and sometimes up to 20 minutes”.
- Le programme de Flamsteed: afin d’espérer pouvoir déterminer les longitudes il fallait obtenir des mesures précises des positions astrales.
- “Charles II, King of England, was informed of these matters and said that they must be pursued in a kingly manner, so that his ship-owners and sailors should lack no help which could be supplied from the heavens, which would make navigation safer”.

De l'origine et du progrès de l'astronomie, de J. D. Cassini, écrit fin 17^e s.

- Selon Cassini, Dieu accorda aux premiers hommes longue vie afin de leur faciliter la connaissance du mouvement des astres. Les observations de très longue durée mentionnées par Hipparque sont suspectes car 2200 ans séparent Hipparque du Déluge qui a tout effacé. Mais la mémoire des observations astronomiques faites depuis le début du monde a pu être conservée sur une stèle de pierre qui résista au déluge.
- « Les grands Ouvrages n'étant jamais parfaits dès leur commencement, il ne faut pas s'étonner que l'on ait trouvé tant de choses à réformer dans la Géographie de Ptolémée. S'il avait eu des Observations Astronomiques faites avec exactitude en des lieux fort éloignés les uns des autres dans toute l'étendue de la Terre qui étoit connue de son temps, il aurait déterminé leur situation avec plus de justesse qu'il ne l'a fait ».

De l'origine et du progrès de l'astronomie, de J. D. Cassini, écrit fin 17^e s.

- « Bien qu'il y eût tant de choses à corriger dans la Géographie de Ptolémée, plusieurs siècles s'écoulèrent sans que personne y mît la main; soit qu'il ne se trouvait alors personne capable de la faire, ou plutôt parce qu'il ne se trouvoit point de Princes qui voulussent faire la dépense des Observations. En effet les Princes Arabes qui conquièrent les Pays où l'on faisoit une profession particulière de cultiver l'Astronomie & la Géographie, n'eurent plutôt déclaré l'intention qu'ils avoient de perfectionner ces sciences, qu'il se trouva incontinent des personnes capables de contribuer à l'exécution de leur dessein. (...) On mesura aussi très exactement par l'ordre de ce prince (Al Mamun) une grande étendue de Pays sous le même Méridien pour déterminer la grandeur d'un degré de circonférence de la Terre ».
- « Mais le fameux Tycho –Brahé l'emporta de beaucoup sur tous les astronomes qui l'avoient précédé. Outre la théorie & les Tables du Soleil et de la Lune et quantité de belles Observations qu'il a faites, il a composé avec tant d'exactitude un nouveau Catalogue des Etoiles fixes, que ce seul ouvrage peut mériter à son Auteur le nom, que quelques-uns lui ont donné, de Restaurateur de l'Astronomie ».

De l'origine et du progrès de l'astronomie, de J. D.
Cassini, écrit fin 17^e s.

- « Le Roy ayant fait bâtir l'Observatoire (...) L'Académie, pour répondre aux intentions que Sa Majesté avoit euës dans la construction de ce superbe édifice, s'appliqua avec beaucoup de soin à tout ce qui pourrait contribuer au progrès de l'Astronomie. On sçait de quelle importance il est pour les Observations Astronomiques d'avoir des horloges justes & bien réglées (...) L'Académie ayant résolu de chercher quelque manière la plus exacte de mesurer le temps, un des Academiciens (Huygens) qui avoit déjà trouvé la manière d'appliquer aux horloges le mouvement du pendule (...) que souvent elles ne varient pas même d'une seconde en plusieurs jours (...) L'utilité de cette invention n'est pas bornée à ce qui regarde seulement l'Astronomie ».

Les Éléments de l'Astronomie vérifiés par Monsieur Cassini par le rapport des ses Tables aux Observations de M. Richer faites en l'Isle de Cayenne (1672)

- « Depuis que Tycho-Brahé nous a donné ses Observations Astronomiques, & que Kepler y a joint ses spéculations & les calculs, & que plusieurs autres ont travaillé après eux, il est certain que les Tables du mouvement des Planetes principales connues aux anciens sont incomparablement plus exactes qu'elles n'étoient auparavant. Néanmoins cette exactitude n'est point encore parvenue à sa dernière perfection : car selon nos Observations, les Tables Rodolhines qui sont réputées les plus exactes anticipent dans les Équinoxes du printemps de trois heures entières(...) Une des principales causes de ces défauts est la réfraction des rayons visuels dans la surface de l'air ».
- « Mais pour une plus grande preuve de leur justesse (tables de réfraction) il étoit souhaitable qu'on eut des Observations du Soleil faites au Zénith ou fort proche (...) Une Observation si importante ne pouvoit se faire que dans la Zone torride proche de l'Equinoxial, où le Soleil au point de Midi passe par le Zénit deux fois l'année. Il fallait entreprendre un voyage pénible, & d'y faire un long séjour dans un climat où les chaleurs sont insupportables. Mais dequoy n'est point capable la Nation Française quand il s'agit de servir un si grand Roy? »

La précision après Cayenne

- Discussion très intéressante sur la détermination de la parallaxe de Mars. Cassini trouve les mesures incertaines et discute de l'existence d'une atmosphère martienne qui réfracte les rayons.
- Les résultats par rapport à l'exactitude:
- Tables du Soleil:
- Différence Tychonienne avec les tables 5' 14''
- Différence après Cayenne 4''
- Résultat diamètre soleil : 100 fois diamètre Terre (mesure actuelle, ~109, mesures de Riccioli ~ 33 dans *Almagestum novum*, 1651).
- Résultat collatéral de Cayenne : différence du battement du pendule. Lié à la chasse à l'exactitude.

Toujours plus de précision :
Jean-Jacques Dortous de Mairan, secrétaire perpétuel de
l'Académie des sciences au siècle des Lumières

- Commentaire sur le mémoire de Cassini III, 1741, Sur la hauteur apparente du tropique du cancer et sur la détermination du solstice d'été
- « Il serait donc étonnant que depuis tant de siècles que les plus fameux astronomes travaillent à perfectionner ces deux éléments de la science du ciel, on ne fut point parvenu à les bien connoître. Et en effet, si on voulait se contenter de la précision que nos pères y désiroient, il semble qu'on pourroit s'en tenir à ce que les observations modernes nous en ont appris, sur-tout depuis qu'on a trouvé l'art d'appliquer les lunettes et le micromètre au Quart-de-cercle. Mais ce qui pourroit passer en un temps & à certains égards pour une précision scrupulente & superflue, ne se trouve être souvent dans la suite et sous d'autres aspects, que l'ébauche grossière de ce qu'exigeroient les nouvelles vues que cette précision a fait naître. C'est le progrès naturel des sciences ou plutôt de l'esprit humain ».

Développement de la précision (exactitude selon la terminologie actuelle) de la mesure des angles en astronomie

- De Ptolémée à Copernic pas de changement notable. Précision de mesures angulaires de l'ordre de 1° . Avec cette précision il était hors de question de mesurer des parallaxes des planètes.
- Les déterminations des grandeurs et des distances des corps célestes étaient faites par des méthodes indirectes (diagramme des éclipses etc.)
- Saut qualitatif important avec Tycho et Wilhelm IV Landgrave de Hesse-Cassel à la fin du 16^e s. Sous les meilleurs conditions ils arrivent à déterminer des angles de $6'$.
- Meilleure précision pour les mesures terrestres: 1600: $2'$; 1680: $1'$ (Hevelius)
- Différence entre mesure directe et détermination des angles. Quand il s'agit de résultats de mesures astronomiques on parle de détermination car soit il s'agit d'un calcul fondé sur plusieurs mesures et en tenant compte de différentes corrections, soit il s'agit des mesures indirectes.

Développement de la précision de la mesure des angles en astronomie

- Difficulté de déterminer les causes de la précision et des erreurs des mesures historiques car plusieurs facteurs entrent en jeu: l'instrument lui-même, les théories (réfraction...), les instruments de calcul (tables de logarithmes), le savoir faire (très important) etc.
- Instruments: un des facteurs perceptibles immédiatement est la précision de l'échelle.

Un quadrant de la marine vers 1600 est divisé en degrés.

Au 17^e s. l'instrument pour la hauteur du soleil «back-sight instrument» est divisé en minutes.

- Précision réclamée par les astronomes:
- On réclame pour le cercle méridien de Roemer (1704) une précision théorique de 2'' ce qui est loin de la vraie exactitude des mesures avec ce cercle. Il n'y a pas encore de différence claire entre précision et exactitude.
- Suzanne Débarbat dans son article sur l'observation des satellites de Jupiter par Roemer trouve une précision de $\frac{1}{2}$ mn. JPL USA (Jay Lieske), ont refait les calculs pour Voyager; ils indiquent que la précision Roemer est de 30'' : du point de vue exactitude ce n'est pas la même chose que $\frac{1}{2}$ mn.
- On pourrait déterminer l'exactitude des mesures astrométriques historiques en les comparant avec celles du satellite Hipparchos, mais la méthode n'est pas toujours significative.
- Par ex. Bessel détermine en 1837–38 la parallaxe de 61 Cygni en 0.314'' (valeur Hipparchos 0.292''). Wilhelm Struve, la même année déterminé la parallaxe de Vega en 0.125''. Après des critiques il révisé cette parallaxe au double. Mais la valeur de Hipparchos est très proche de son estimation initiale (0.129'').

Le développement de la précision du point en mer

- Chronomètres

Fin 18^e s. 1 sec.

- Latitudes

Par méridiennes du Soleil $\phi=N+D$, erreur sur D 0,5' sur N 1' instrumentale et observation 1,5' corrections tabulaires 0,5' total 3,5'-4'.

Par la polaire 2,5' à 3'.

- Longitudes

Vers 1760 La Caille montre que erreur 4' sur distance lunaire = 108' en longitude. Il ajoute erreurs mesures hauteurs 15' tables lunaires 2' induisant 54', donc total 177' à l'équateur.

L'horloger marin, hydrographe et homme politique Charles Pierre Claret, Comte de Fleurieu, en 1797 suppose 30''.

Louis Pagel (Latitude par les hauteurs, 1847) estime: erreur sur distance apparente 3', hauteur des deux astres 2', calcul de l'heure 3', imprécision logarithmes 2' (= 10'). Alfred Ledieu (Les nouvelles méthodes de navigation: étude critique, 1877) estime pareil, 8'-10'

- Tables lunaires

Halley, 2' en 1731, Clairaut 1,5' en 1765, tables de Mayer retravaillées par Mason moins de 30'' en 1787, Johan Tobias Bürg 10'' en 1806,.

Il faut tenir compte de la précision des tables de logarithmes (Gardiner à 7 décimales 1742, réimpr. en 1770 à Avignon par père Pezenas. Tables de la Caille, 1768).

«En refaisant au moyen d'une calculatrice le calcul de distance lunaire de l'exemple de Borda, on met en évidence une différence de 11,7'', induisant dans la table des distances lunaires une différence en temps de l'ordre de 0,4 mn, soit 6' de longitude. Il s'agit bien, sans aucun doute, de l'imperfection de la table des logarithmes », (Capitaine Jean-José Ségéric, Histoire du point astronomique en mer, Rennes : Marines éditions, 2006).

Précision de mesures des coordonnées en mer

(source: Jean-José Ségéric, Histoire du point astronomique en mer, Rennes : Marines éditions, 2006.
Jean-José Ségéric, Histoire du point astronomique en mer, Rennes : Marines éditions, 2006).

| périodes | Précision instrumentale | Précision tables | Précision montres | Correction hauteurs | latitude | longitude |
|----------|-------------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------|-----------|
| 1500 | 30' | | | Non | 2 degrés | |
| 1600 | 30' | | | Non | 2 degrés | |
| 1700 | 5' | 1' | | Oui | 10' | 30' |
| 1800 | '1' | 10'' | 1 sec | Oui | 4' | 10' |

Travail en chaîne et précision

- Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers: Précis, adj. Précision, ff. La précision est une brièveté convenable, en parlant ou en écrivant, & qui consiste à ne rien dire de superflu, & à ne rien omettre de nécessaire (...)
- Grand dictionnaire Universel du XIXe siècle (Larousse, 1866): Instrument de précision: Instruments destinés à des usages qui réclament une grande justesse de construction et de fonctionnement. Exactitude: l'exactitude d'un calcul, d'un fait.
- Simon Schaffer, "Astronomers Mark Time: Discipline and the Personal Equation", Science in Context Volume 2 / Issue 1 / March 1988, pp 115-145:

L'équation personnelle étudiée et établie après Bessel fut utilisée à la fin du 19^e s. par le psychologue et père de la psychologie expérimentale Wilhelm Wundt (Grundzüge der physiologischen - Principes de la psychologie physiologique, 1874) pour ses expériences sur les réactions des êtres humains. Les historiens de la psychologie ont vu l'apport des études psychologiques en astronomie. En fait, les astronomes n'ont jamais ignoré le facteur personnel. Les directeurs des grands observatoires ont développé des nouveaux procédés chronométriques et une surveillance vigilante des observateurs. La solution des astronomes était étroitement liée aux changements sociaux et matériels dans leur mode de vie : une division de travail dans les observatoires, un réseau observationnel et la mécanisation de l'observation.