

L'ANALEMME UNIVERSEL DE FERGUSON, UNE MAQUETTE ASTRONOMIQUE

David Alberto

L'auteur nous fait découvrir le double instrument astronomique que James Ferguson a conçu au milieu du XVIII^e siècle, nous en explique le mode d'emploi détaillé et présente la maquette qu'il a bâtie de cet instrument, invitant le lecteur à télécharger le fichier permettant de le réaliser.

À PROPOS DE JAMES FERGUSON

L'Écossais James Ferguson (1710-1776), astronome autodidacte né dans une modeste famille de fermiers, s'est rendu célèbre en Grande-Bretagne pour ses conférences, maquettes, articles et ouvrages de vulgarisation dans les domaines de l'astronomie, de la mécanique et de l'électricité. Il devient membre de la Royal Society en 1763.

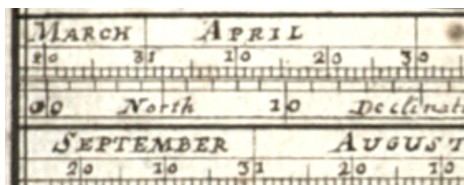
Ses principales réalisations astronomiques sont des horloges et des planétaires, mais son *Astronomical Rotula*, une maquette de papier destinée aux éclipses, connaît un certain succès en Grande-Bretagne dès les années 1740. Plus tard il conçoit le *New Astronomical Instrument*, dédié à la détermination des heures de lever et coucher du Soleil, de la Lune et des étoiles. Nous présentons ici une double maquette en papier visible sur le site internet du History of Science Museum d'Oxford.

DESCRIPTION DE LA MAQUETTE

Au recto se trouve un analemme, projection de la sphère céleste avec les parallèles de déclinaison solaire et les courbes horaires. Au verso : un nocturlabe, qui sera présenté dans un prochain article.

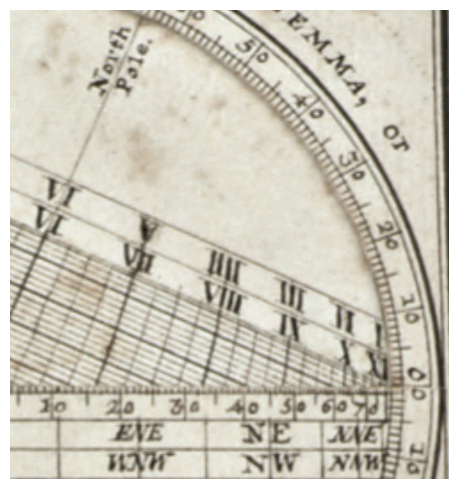
Au bas de l'analemme Ferguson a placé un calendrier doublé d'une échelle de déclinaison du Soleil (fig.2).

Fig.2. L'échelle indique pour chaque date de l'année la déclinaison du Soleil.



Les arcs d'ellipses sont les méridiens horaires, gradués en chiffres romains selon une graduation en double sens, aussi bien au nord qu'au sud de la sphère. L'axe des pôles de la sphère céleste est clairement matérialisé et légendé ; ses extrémités pointent sur le limbe gradué, indiquant ainsi la hauteur du pôle sur l'horizon, c'est-à-dire la latitude d'utilisation. Cet instrument est donc réglable pour toute latitude, d'où la qualification d'universel.

Fig.3. Zoom sur l'analemme, avec l'axe des pôles, les parallèles de déclinaison et les courbes horaires en chiffres romains. L'horizon est gradué en degrés et en points cardinaux. Le limbe périphérique indique la hauteur du Soleil.



La bande transversale représente l'horizon de l'observateur situé à la latitude choisie. Il est gradué de 0 à presque 90° dans les deux sens depuis le centre, ainsi qu'en points cardinaux. Son bord inférieur est légendé « Boundary of Twilight » et sert à déterminer l'heure de début ou de fin du crépuscule.

UTILISATION DE L'ANALEMME

Pour illustrer les exemples ci-après, une reproduction de ce tracé sera utilisée. Elle a été réalisée avec LaTeX et le package de dessin TikZ.

Il serait préférable d'avoir construit la maquette (lien en fin d'article) pour mieux suivre les instructions d'utilisation ci-dessous.

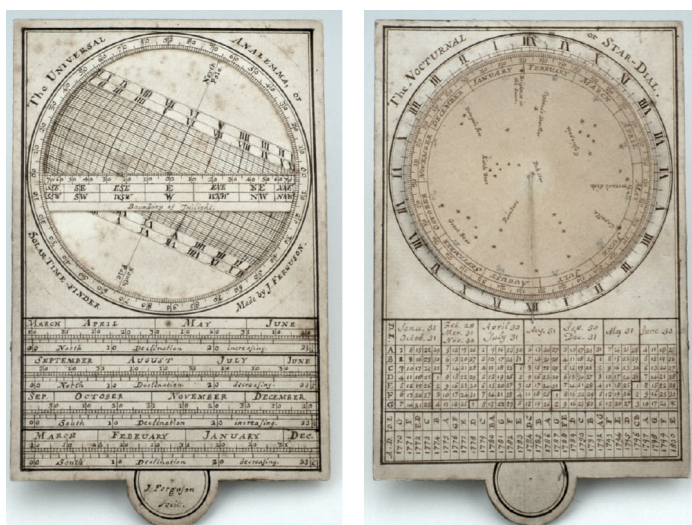


Fig.1. Une maquette double face comportant deux instruments de Ferguson (1775).

À gauche : Universal analemma, à droite : Nocturnal.

Réglage de la latitude (fig.4)

Diriger le pôle céleste sur la graduation du limbe correspondant à la latitude d'utilisation. Pour l'hémisphère nord, le pôle céleste nord doit être au-dessus de l'horizon, vers la droite. Pour l'hémisphère sud placer le pôle sud en haut à gauche.

Heures de lever et de coucher du Soleil (fig.4)

Sur les échelles de calendrier et de déclinaison, rechercher la valeur de déclinaison entière la plus proche de la date souhaitée. Repérer ensuite le parallèle correspondant (le parallèle central est l'équateur, de déclinaison nulle), les parallèles du côté nord de la sphère céleste correspondent à « North Declination » ; de nos jours, on compterait négativement les déclinaisons sud. Les deux parallèles extrêmes ont pour déclinaison solaire $23^{\circ}26'$ (dans l'original de Ferguson : $23^{\circ}30'$), obliquité de l'écliptique.

Au lieu de compter les parallèles pour repérer celui de la déclinaison voulue, on peut s'aider des graduations du limbe, en plaçant les parallèles à l'horizontale : les graduations du limbe indiquent les déclinaisons des parallèles.

Pour comprendre comment trouver les heures de lever et de coucher du Soleil, l'utilisateur doit s'imaginer au centre de l'instrument, au milieu de l'horizon. Chaque jour, le Soleil décrit un mouvement apparent le long d'un parallèle de déclinaison, depuis minuit (sous l'horizon) en montant jusqu'à midi (bord opposé, au-dessus de l'horizon), puis l'après-midi fait le chemin en sens inverse, se couche (passage sous l'horizon) jusqu'à minuit. Le lendemain, sa déclinaison a légèrement varié.

Après avoir réglé l'instrument en latitude et trouvé le parallèle de déclinaison du jour, on cherche son intersection avec l'horizon : elle donne l'heure de lever et de coucher du Soleil sur les arcs d'ellipses (méridiens horaires).

Amplitude ortive et occase du Soleil

L'amplitude ortive d'un astre est l'angle, compté dans le plan de l'horizon, entre la direction de son lever et le point cardinal est. Symétriquement, au moment de son coucher on définit l'amplitude occase entre la direction du coucher et l'ouest. Les amplitudes ortive et occase du Soleil sont considérées égales, pour une date donnée, puisque l'on néglige généralement la variation de sa déclinaison au cours de la journée.

Les amplitudes sont lues directement sur l'horizon. Dans l'exemple (Fig.4), l'amplitude vaut 29° vers le nord. Dans l'hémisphère nord le

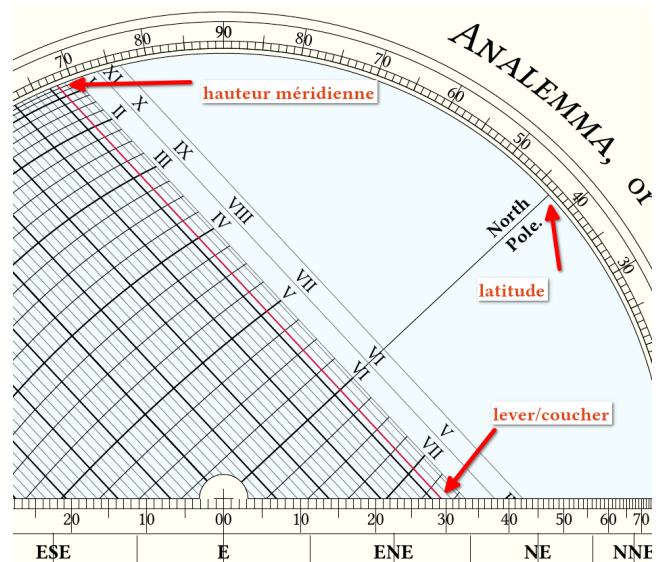


Fig.4. Heures de lever et de coucher du Soleil, pour la latitude 43°N , le 23 mai (déclinaison 21° , indiquée par le parallèle rouge).

Soleil se lève vers le nord-est au printemps et en été, mais au sud-est en automne et en hiver.

Hauteur méridienne du Soleil

La hauteur méridienne est la hauteur maximale atteinte au cours de la journée, à midi. Elle se lit sur le bord du disque, du côté opposé à celui où se trouve le pôle. Dans la Fig.4 elle vaut 68° .

Début et fin du crépuscule

Le crépuscule astronomique du matin (aube) commence conventionnellement quand le Soleil se trouve à 18° sous l'horizon et finit au lever du Soleil. Le crépuscule astronomique du soir commence au coucher et se termine quand le Soleil se trouve à 18° sous l'horizon.

Sur l'analemme, le bord inférieur de la bande transversale est la ligne des 18° sous l'horizon. Par conséquent le point d'intersection de ce bord avec le parallèle de déclinaison indique l'heure de début ou de fin du crépuscule, par lecture sur les courbes des méridiens horaires.

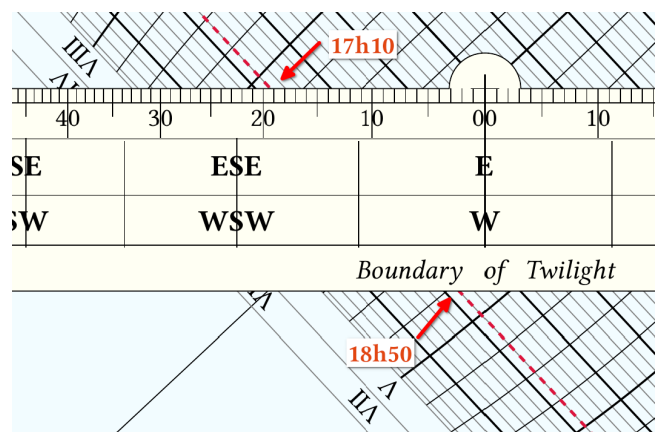


Fig.5. Début et fin du crépuscule du soir, le 30 octobre (déclinaison 14° sud), à 43° de latitude nord.

DÉTERMINATION DE L'HEURE SOLAIRE

James Ferguson a intitulé cet instrument solar Time Finder : envisageait-il uniquement les heures de lever et de coucher, ou bien également l'heure qu'il est ? En l'absence de guide d'utilisation rédigé par l'auteur, on ne peut que tenter de deviner de quelle manière cet instrument peut donner l'heure.

Il paraît évident d'utiliser les graduations du limbe pour mesurer la hauteur du Soleil, puis utiliser la correspondance entre la hauteur et les courbes horaires. L'objet faisant une ombre serait une pointe dépassant du pivot central.

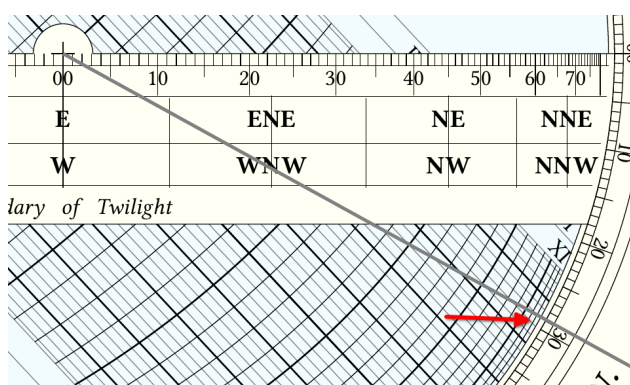


Fig.6. Mesure de hauteur du Soleil.
Le trait gris représente l'ombre d'une pointe située au centre. On lit 29° de hauteur sur le limbe.

La déclinaison et la hauteur du Soleil étant connues, on cherche en quel point de l'analemme le parallèle de déclinaison atteint la hauteur mesurée.

Alors, la courbe horaire la plus proche indique l'heure. Puisque une même courbe horaire porte deux indications, on lit l'heure cohérente avec l'instant de la mesure (matin ou après-midi).

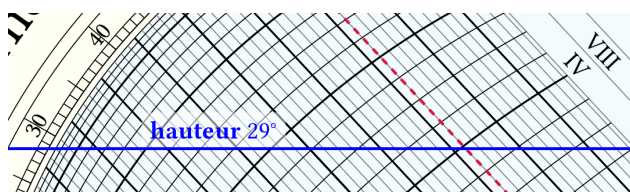


Fig.7. Un fil tendu sur les graduations 29° du limbe indique la hauteur mesurée. Son intersection avec le parallèle (pointillés) indique 4h ou 8h sur les courbes horaires.

David Alberto, professeur de physique-chimie en lycée, s'est lancé dans l'astronomie à l'occasion d'une école d'été du CLEA <http://clea-astro.eu/>. Pour plus de détails sur ses activités, voir <https://www.astrolabe-science.fr/>

RÉALISATION DE LA MAQUETTE

Les parallèles de déclinaison δ sont tracés en plaçant des lignes à une distance $R \cdot \sin \delta$ de l'équateur, avec $-23,4^\circ < \delta < 23,4^\circ$, R étant le rayon intérieur du tracé.

La ligne du crépuscule astronomique est située à une distance $R \cdot \sin(18^\circ)$ sous l'horizon.

Les courbes horaires sont des arcs d'ellipses dont le demi-grand axe est R , et le demi-petit axe $R \cdot \cos H$, H étant l'angle horaire, entre 0 et 180° . Ces arcs d'ellipses sont délimités par leurs intersections avec les parallèles de déclinaisons extrêmes.

L'échelle d'amplitude située le long de l'horizon est obtenue en plaçant les graduations à une distance $R \cdot \sin a$ du centre, l'angle a variant de 0 à 90° vers la gauche et vers la droite.

Quant au calendrier indiquant la déclinaison du jour, il existe plusieurs modélisations permettant de calculer la déclinaison du Soleil pour un jour donné.

La plus simple est la suivante : soit J le quantième du jour dans l'année (de 1 à 365), une valeur approchée de la déclinaison est donnée par :

$$\delta = 23,4 \cdot \sin \left(\frac{360}{365} (284 + J) \right)$$

Pour une lecture sur de petites graduations telles que sur cette maquette, cette modélisation donne une précision tout à fait convenable.

Notez bien que sur ce calendrier ce sont les graduations des jours qui sont régulières alors que celles de déclinaison sont irrégulières. Ainsi, pour le construire, on commence par dresser une échelle régulière de jours, puis pour chaque valeur de déclinaison on calcule le quantième J devant lequel placer cette graduation. Hors solstices, une même valeur de déclinaison donne deux valeurs de J dans l'année.

Sur le site de l'auteur¹, vous trouverez le document à imprimer pour réaliser cette maquette.

¹ <https://www.astrolabe-science.fr/double-maquette-astronomique-ferguson/>

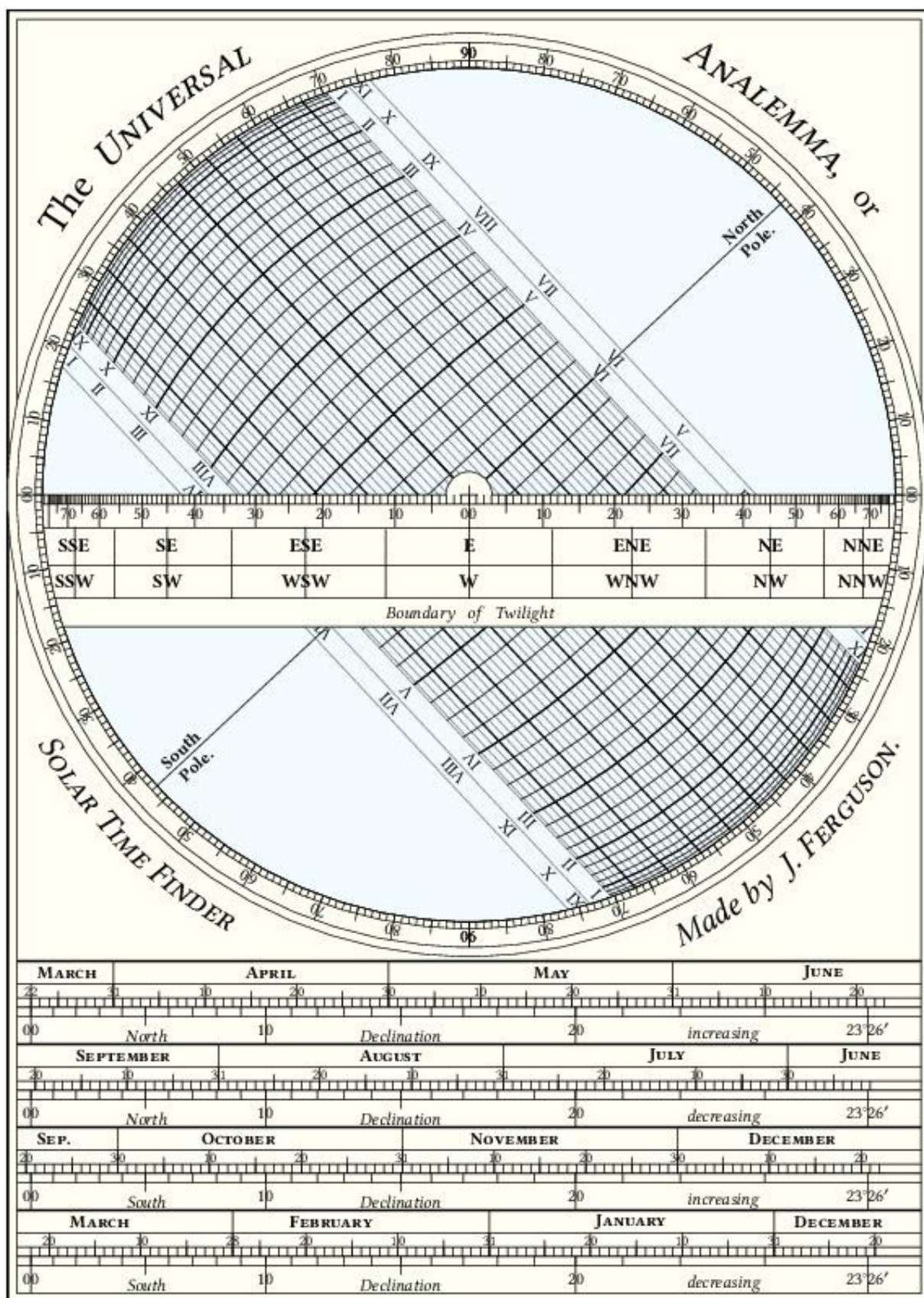


Fig.8. Reproduction moderne de la maquette de Ferguson.