

# Comment des navigateurs auraient pu mesurer la longitude il y a 2000 ans

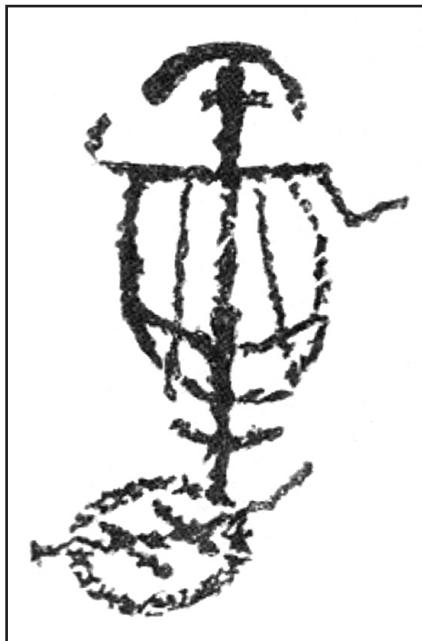
**RICK SANDERS**

**V**ers 232 avant J.-C., le capitaine Rata et le navigateur Maui embarquèrent sur une flottille depuis l'Égypte pour tenter de faire le tour de la Terre. <sup>1</sup> Dans la nuit du 6 au 7 août 2001 entre 23 h et 3 h, l'astronome amateur Bert Cooper et moi-même avons démontré que Rata et Maui auraient pu, pendant presque tout leur périple, connaître et établir leur position en longitude.

Eratosthène, le grand scientifique qui dirigea la bibliothèque d'Alexandrie, était à l'origine de cette expédition. Peut-être ce voyage devait-il démontrer l'hypothèse de ce dernier, selon laquelle la Terre est ronde et que sa circonférence est d'environ 40 000 km ? Quoi qu'il en soit, l'un des instruments de navigation emportés par Maui était un étrange « calculateur » qu'il avait appelé « *tanawa* ». En 1492 après J.-C., cet appareil sera connu sous le nom de « torquetum ».

Intrigué par une photographie d'un dessin de ce *tanawa* exécuté dans une grotte en Irian Jaya (Nouvelle-Guinée occidentale), j'ai supposé que Maui devait avoir observé l'écliptique pour mesurer la « distance lunaire » afin de trouver sa longitude. Maui avait accordé tant d'importance à son *tanawa*, qu'il le dessina sur la paroi de la grotte avec l'inscription suivante, déchiffrée par l'épigraphiste Barry Fell : « *La Terre est inclinée. Par conséquent, les signes de la moitié de l'écliptique veillent sur le sud, l'autre [moitié] s'élève vers l'ascendant. Ceci est le calculateur de Maui.* »

Eratosthène venait de mesurer la



**Dessin du *tanawa* réalisé par Maui. Ce dessin a été trouvé dans la grotte des Navigateurs (Sosorra, Irian Jaya).**  
Source : America B.C., Barry Fell.

circonférence de la Terre, et la circonférence d'une sphère est la même dans chaque direction. Nous savons que Maui y avait songé, parce que les dessins de la grotte contenaient aussi une preuve de cette expérience.

Voulant vérifier ces hypothèses, nous avons construit et utilisé une version simplifiée du torquetum en bois, afin de mesurer le changement de distance angulaire entre la Lune et l'étoile Altaïr (constellation de l'Aigle). En menant à bien cette expérience, nous avons prouvé le caractère erroné des dogmes officiels. Elle a aussi prouvé qu'en principe, le navigateur Maui aurait pu avoir utilisé, durant son voyage,

des tables embarquées à Alexandrie et dressées par Eratosthène ou ses collaborateurs. Maui aurait ainsi pu comparer ces distances lunaires avec celles qu'il aurait mesurées, et trouver une bonne approximation de sa longitude.

Il est important de noter que nous n'affirmons pas ici tout connaître à propos du torquetum. Nous avons simplifié notre instrument pour apporter une preuve, mais nous avons l'intention de procéder à d'autres expériences en utilisant la totalité de l'instrument.

Les progrès apportés par le torquetum, en tant que calculateur analogique, ont dû être considérables car dès que la Lune ou bien une planète ne sont pas sur le méridien, toutes les « lignes droites » deviennent courbes et, de ce fait, ces calculs sont difficiles même avec un calculateur moderne. Toutefois, le plan de 23,5° situé sur le torquetum permet de lire directement la longitude et la latitude d'une planète ou de la Lune par rapport à l'écliptique, et cela sans calcul. Ces données étaient inestimables pour prévoir les éclipses et les occultations de diverses étoiles ou planètes par la Lune.

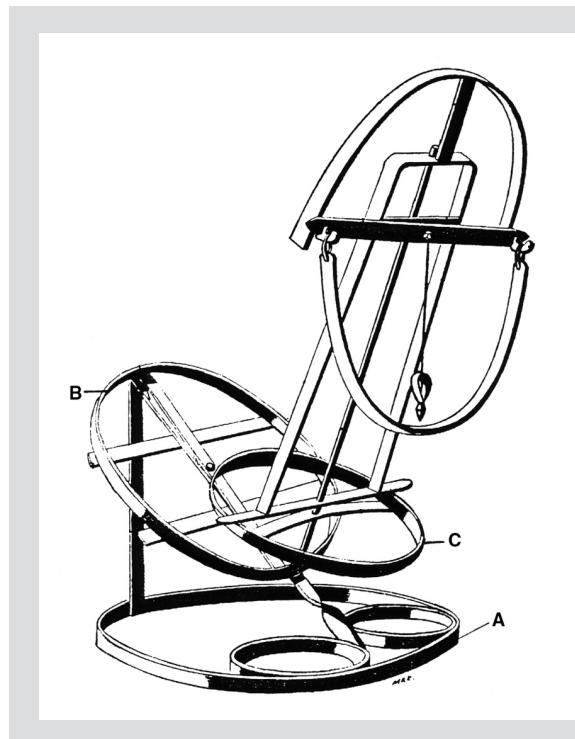
## Ce qui a inspiré cette expérience

Cette expérience a une double inspiration. On pouvait voir un torquetum à l'exposition « Christophe Colomb 1992 » de Washington. Toutefois, il n'y avait aucune description de son usage ni de son mode d'emploi, et personne ne semblait capable de donner une explication. Je laissai cette question en suspens mais, par

la suite, grâce à une série d'articles parus dans *21<sup>st</sup> Century Science & Technology*<sup>1</sup>, j'ai appris que deux mille deux cents ans auparavant, le navigateur Maui possédait un instrument de ce type. Les inscriptions laissées par l'expédition Rata-Maui, dont celles trouvées au Chili et sur l'île Pitcairn, ont été déchiffrées par l'épigraphe Barry Fell, ce qui lui a permis d'établir que la flottille avait atteint le Nouveau Monde en 232 avant J.-C. Un croquis du torquetum fut trouvé dans la « grotte des Navigateurs » en Irian Jaya (photographié par l'ethnologue allemand Josef Röder en 1937). A partir de cela, le biologiste américain Sentiel Rommel construisit pour Fell un modèle du tanawa (voir dessin ci-contre).

C'était fascinant ! A quoi servait ce tanawa ? Pourquoi le plan de 23,5°, caractéristique du torquetum ? Cela pouvait seulement signifier que Maui observait l'écliptique, la Lune et les planètes – les « étoiles vagabondes ».

Des deux torquetums existant encore à ce jour, l'un appartenait à Nicolas de Cues et l'autre à Regiomontanus (Johannes Müller), tous deux engagés dans la réforme du calendrier, notamment dans la fixation de la date de Pâques. Celle-ci, tout



**Modèle en laiton du tanawa de Maui, construit par Sentiel Rommel. La base (A) dans le plan de l'horizon de l'observateur, est orientée de manière à ce que l'axe de symétrie soit parallèle au méridien. (B) est le plan équatorial. (C) est le plan écliptique.**

Illustration de Matt Makowski in *The Epigraphic Society Occasional Publications*, Vol. 32, n°29, février 1975.

comme d'autres fêtes religieuses, est déterminée par l'interaction des calendriers lunaire et solaire.

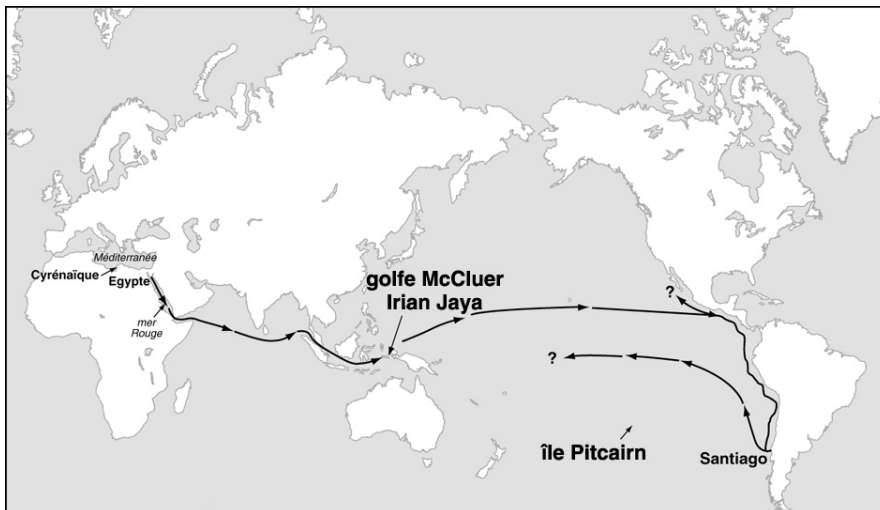
Mais qu'est-ce que Maui avait bien pu faire ? Essayer de déterminer la longitude ? Cette idée était en elle-même hérétique. Pour sortir du domaine de la spéculation, la

seule solution était de construire un torquetum, et de voir si la longitude pouvait être déterminée en utilisant des observations de la Lune avec un équipement simple. Si nous pouvions y parvenir, alors Maui aurait pu en faire autant.

## Déterminer la longitude

Il est difficile de déterminer la longitude. Les Anciens utilisaient les éclipses mais elles sont trop rares pour être utiles à la navigation. Il ne suffit pas de regarder une étoile (Polaris, par exemple), comme c'est le cas quand on veut déterminer la latitude. D'après les manuels, pour déterminer la longitude à bord d'un bateau, il faut un chronomètre ou un sextant spécial fixé sur un télescope, ou bien encore un télescope capable de détecter l'occultation des lunes de Jupiter. Or ces technologies n'ont été développées qu'à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle.

On ne peut pas déterminer la longitude à partir des seules étoiles, parce que leur mouvement journalier est purement apparent, à cause de la rotation de la Terre. A 20 h (temps solaire apparent), toute étoile observée de n'importe où, que ce soit Ferrare, Paris ou Le Caire, aura le même azimut qu'à Washington, Chicago, Seattle ou ailleurs. La Lune



**Route probable du voyage de Rata et Maui. Des inscriptions dans des grottes découvertes dans les îles du Pacifique, la Nouvelle-Guinée occidentale et Santiago du Chili, nous relatent qu'une ottille égyptienne appareilla vers 232 avant J.-C., pendant le règne de Ptolémée III, avec pour mission de faire le tour du globe. Les six bateaux naviguèrent sous le commandement du capitaine Rata et du navigateur Maui, ami de l'astronome Eratosthène (275 ?-194 avant J.-C.). Les inscriptions de Maui, déchiffrées dans les années 70 par l'épigraphe Barry Fell, indiquent qu'il s'agissait d'un voyage dans le but de démontrer l'hypothèse d'Eratosthène.**

partage ce mouvement apparent vers l'ouest, mais possède aussi son propre mouvement véritable.

Regardons ce que disait en 1502 Amerigo Vespucci (lui-même à la frontière de l'astronomie maritime au sortir de l'âge des Ténèbres) dans sa *Lettre IV*: « [...] Je maintiens que j'ai appris [à déterminer ma longitude] [...] grâce aux éclipses et aux conjonctions de la Lune avec les planètes ; et j'ai perdu beaucoup de nuits à réconcilier mes calculs avec les préceptes de ces sages qui ont conçu les ouvrages et écrit à propos des mouvements, conjonctions, aspects et éclipses des deux astres et des étoiles vagabondes, comme le roi Alphonse le Sage dans ses Tables, Regiomontanus dans son *Almanach*, Blanchinus, et le rabbin Zacuto dans son *Almanach perpétuel* ; et ceux-ci ont été composés pour différents méridiens : le livre du roi Alphonse pour le méridien de Tolède, celui de Regiomontanus pour Ferrare et les deux autres pour Salamanque. »<sup>2</sup>

Les étoiles constituent la meilleure « horloge » de référence. Pendant les quelque 27,3 jours de son orbite autour de la Terre, la Lune décrit un mouvement complet de 360° dans le ciel et reprend sa position de départ parmi les étoiles. Cela équivaut à 13° par jour, soit un peu

plus de 0,5° par heure. Du fait de la rotation de la Terre, les étoiles et la Lune semblent se déplacer d'est en ouest à travers le ciel nocturne, mais la Lune, à cause de son orbite propre autour de la Terre, résiste contre ce mouvement apparent et semble se déplacer vers l'est (mouvement rétrograde) d'environ 0,5° par heure. En d'autres termes, la Lune ne « se déplace » vers l'ouest que de 11,5° par heure.

Ainsi, si une étoile connue se trouve à une position donnée sur la sphère céleste (mesurée par son azimut et son ascension droite), on pourra établir une table à un endroit donné pour chaque nuit, permettant de déterminer la distance apparente entre la Lune et cette étoile.

Un exemple : si un bateau appareille et se dirige de 15° vers l'ouest (une heure), et si les marins peuvent voir le Soleil et l'étoile de référence, la Lune semblera se trouver à 0,5° vers l'est de ce qu'indique la table pour le port de départ. Tout ceci, le navigateur Maui aurait pu le connaître en 232 avant J.-C. La seule question est de savoir si les instruments dont il disposait pouvaient mesurer une différence angulaire de l'ordre de 0,5°.

## Nos observations

Les observations que nous avons effectuées avec un torquetum simplifié démontrent que c'était possible de le faire. Au moment où Altaïr s'est déplacé de 41,8° vers l'ouest le long du plan équatorial, la Lune s'est déplacée de seulement 40,25°, soit 1,55° de différence. Parce que la Lune a dû rétrograder d'environ 0,5° par heure, la régression *calculée* serait de 1,39°. Cette erreur inférieure à un sixième de degré (0,166) s'inscrit dans les limites de notre instrument dont la précision est de 0,25°. ■

### Références

- « The Decipherment and Discovery of a Voyage to America in 232 B.C. » par Marjorie Hecht, et « Indian Inscriptions from the Cordilleras in Chile » par Karl Stolp, *21st Century*, Winter 1998-1999 ; « On Eratosthenes, Maui's Voyage of Discovery, and Reviving the Principle of Discovery Today » par Lyndon LaRouche, « Eratosthenes' Instruments Guided Maui's 3rd Century B.C. Voyage » par Marjorie Hecht, et « Maui's Tanawa: A Torquetum of 232 B.C. » par Sentiel Rommel, *21st Century*, Spring 1999.
- Cité dans *Letters From A New World*, Ed. Luciano Formisano, 1992.

# Construire et utiliser le tanawa de Maui

Ces photos montrent l'assemblage d'un torquetum primitif en bois – le modèle du *tanawa* de Maui – destiné à effectuer des observations célestes. Pour des raisons pédagogiques, nous avons montré le torquetum de jour, mais cet instrument est surtout utilisé pour des observations stellaires et planétaires, ainsi que pour mesurer le déplacement de la Lune.

L'élément inférieur de l'instrument est incliné à partir de son

## BERTRAM COOPER

socle horizontal d'un angle égal à la colatitude de l'observateur (90° moins la latitude), de manière à ce que l'axe polaire du cadran horaire soit parallèle à l'axe polaire pour la rotation de la Terre.

On peut établir la direction de l'axe polaire en commençant par

tracer une ligne située droit au sud à partir du point d'observation, afin d'obtenir un « point d'ancrage » à partir duquel on mesure le temps à travers le ciel.

On peut déterminer avec un degré élevé de précision le nord polaire au cours d'une nuit de 12 h ou *plus longue*, en localisant l'élongation est et ouest de n'importe quelle étoile circumpolaire brillante, et en *divisant* la différence. On peut compléter cela avec des observations diurnes

du Soleil à midi, si l'on arrive à déterminer midi.

Etant donné la localisation actuelle de l'équinoxe vernal, l'Etoile polaire ne se situe pas au nord céleste mais à moins de trois quarts de degré de celui-ci. Il est possible de fabriquer des appareils de visée permettant de pointer correctement le nord astronomique, et d'établir au préalable une vraie ligne nord-sud.

Sur la **photo 1**, les dispositifs sont installés pour une visée et un alignement polaires, grâce à une fente à l'extrémité de l'élément inférieur. Notons que Maui a voyagé il y a deux mille deux cents ans environ, et que notre Etoile polaire était à l'époque encore plus éloignée du pôle céleste. Toutefois, Maui aurait pu trouver le nord astronomique à un endroit situé environ entre Beta Ursa Minoris et Polaris.

La **photo 2** montre le châssis de l'instrument, parallèle à l'axe de la Terre et à un instrument circulaire placé sur ce châssis, instrument qui donnera l'ascension droite le long de l'équateur céleste.

Dans cette disposition, on utilise de nuit les instruments de visée pour

un alignement polaire du châssis. Contrairement à la configuration diurne, les réticules sont ici utilisés comme guidon, tandis que la hausse est un orifice de 6,35 mm de diamètre, comme pour un fusil.

Le bâti, avec ses éléments en bois, est maintenant prêt pour le montage, réalisé sur un espace de travail séparé. En effet, il est inconfortable d'installer les disques et les poutres sur l'instrument déjà positionné. La traverse graduée du support soutiendra les dispositifs de visée. Au milieu, une cale de 23,5° d'angle a été fabriquée pour imiter l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan du système solaire. Il faut établir chaque jour ce disque pour la position du Soleil sur l'écliptique.

## Le cadran équatorial

Le cadran équatorial de 35,56 cm de diamètre (**photo 3**) a demandé un certain temps pour le construire. En termes de patience et de concentration, la mise en place de ce ca-

dran rivalise avec celle de la poutre de portée. Le cadran se construit au compas : on divise d'abord le cercle en six, produisant ainsi six angles de 60° ; ensuite, on divise chaque sixième en deux, puis encore en deux, créant ainsi vingt-quatre divisions de 15°, soit une heure.

En utilisant un compas à pointe sèche, chaque heure est ensuite divisée en trois, permettant de tracer trois lignes de 20 min de 5° chacune, que l'on divise en cinq afin de produire cinq angles de 1° (4 min). On divise ensuite chaque degré en deux, pour obtenir des divisions de 0,5°.

Il est extrêmement important que l'instrument se meuve sans à-coups. Nous ne savons pas quelle substance Maui a utilisée, mais nous sommes servis de talc pour rendre souple le mouvement du cadran sur sa surface de support, la cale de 23,5° de pente. De l'argile provenant du lit d'une rivière conviendrait tout aussi bien.

Après que le cadran équatorial de 35,56 cm ait été fixé sur l'axe polaire de l'instrument, on installe la cale avec sa structure principale (**photo 4**). Là aussi, on a besoin de

Un demi-cercle et un plomb attaché au bras de visée, qui donnent l'élévation d'une étoile ou d'une planète au-dessus de l'horizon.

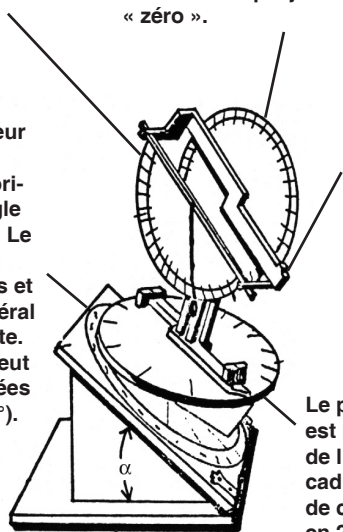
Le cadran mesurant la latitude écliptique, c'est-à-dire le nombre de degrés au-dessus ou en dessous de l'écliptique de la Lune ou des planètes. Il est correctement étalonné quand, en visant le Soleil chaque jour à midi, il marque « zéro ».

Le plan équatorial pointe vers l'équateur céleste, lorsqu'on l'incline depuis l'horizontale vers un angle égal à la colatitude. Le cadran de 35,56 cm est divisé en heures et donne le temps sidéral ou l'ascension droite. Si nécessaire, on peut convertir ces données en degrés (1 h = 15°).

Le bras de visée, avec des œilletons pour « viser » une planète, une étoile, la Lune ou le Soleil.

Le plan incliné à 23,5° est parallèle au plan de l'écliptique. Le cadran de 30,48 cm de ce plan est divisé en 24 h, et donne la longitude écliptique quand la position du Soleil est le temps sidéral à midi.

La base, dans le plan de l'horizon de l'observateur, orientée de manière à ce que l'axe de symétrie soit sur le méridien nord-sud.



Le torquetum permet de nous indiquer, sans calcul long ou fastidieux et à n'importe quel moment de la nuit quand les planètes ou la Lune sont visibles, quelle est leur distance angulaire du Soleil, ou du premier point du Bélier, et/ou d'une étoile brillante dans leur voisinage. Il peut aussi nous indiquer la distance à laquelle elles se situent par rapport à l'écliptique (au-dessus ou en dessous). On peut ainsi réaliser un almanach d'une façon assez rapide, avec suffisamment de données pour prévoir au moins tant les éclipses lunaires que les occultations des étoiles brillantes ou des planètes par la Lune – événements qui devraient confirmer la longitude obtenue en utilisant le torquetum pour mesurer la distance lunaire.

**Rick Sanders**

Source : d'après Sentiel Rommel : «Maui's Tanawa : A Torquetum of 232 B.C.», 21<sup>st</sup> Century Science & Technology, Spring 1999, p. 75.





Photo 1

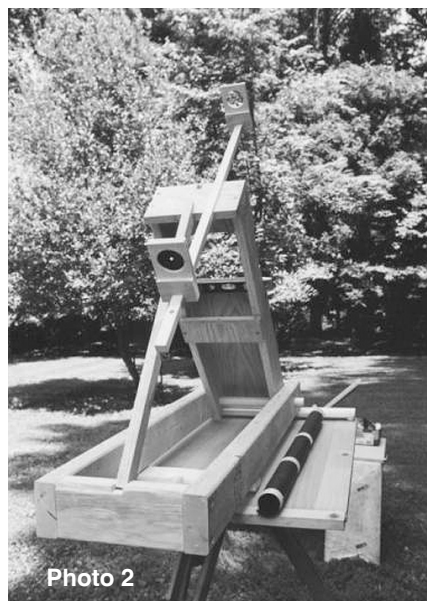


Photo 2

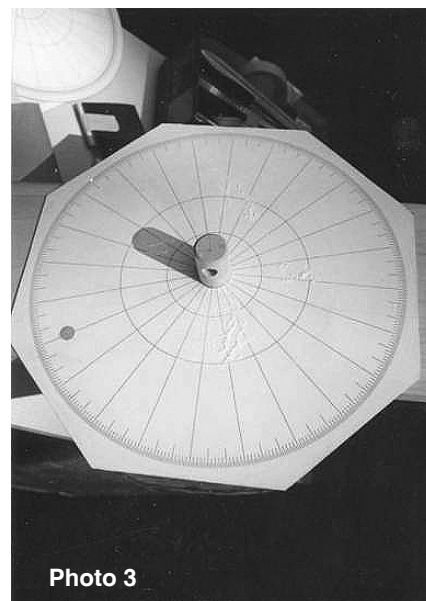
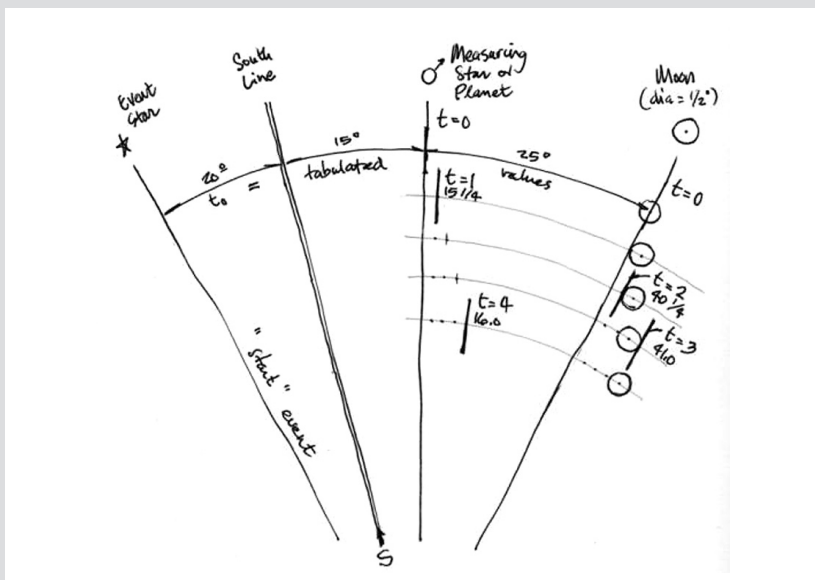


Photo 3



Ceci est l'étude d'une méthode possible de visée. Chaque lecture consisterait en un « jeu » de deux lectures d'une étoile ou d'une planète mesurées, et de deux lectures de la Lune, une sur le bord de fuite et l'autre sur le bord d'attaque, ce qui donnerait une moyenne au centre. Il s'est avéré qu'il serait plus exact d'aligner le bord de la Lune sur le réticule, plutôt que d'essayer de deviner où exactement se trouvait le centre de la Lune pour chaque visée. En estimant qu'une minute de temps s'écoule entre chaque alignement, on ferait alors une moyenne des quatre visées, afin de calculer la séparation angulaire de la Lune au moment voulu de la première action.

Notons qu'une séquence de quatre visées, répartie uniformément à raison d'une minute environ par visée, ce qui est une cadence naturelle et suffisamment lente (ce que Maui a pu faire), minimise l'erreur. Cette séquence comprend : 1) une visée sur l'étoile de référence, 2) une sur le bord de fuite de la Lune, 3) une sur le bord d'attaque de la Lune et 4) une dernière sur l'étoile de référence qui, une fois diminuée, produit l'angle instantané de l'événement de « départ ».

Dans ses voyages, Maui aurait probablement emporté les tables préparées par Eratosthène à Alexandrie. Les utilisant comme point de référence, il aurait conçu ses propres tables, basées sur la détermination des longitudes locales.

**Bert Cooper**

talc pour que la cale, avec son bâti et son appareil de visée, puisse tourner doucement sur la poutre en bois et le cadran horaire. Tout mouvement saccadé des dispositifs de visée sur le cadran ne permettrait pas, par la suite, une lecture appropriée de l'observation des étoiles.

La poutre maîtresse, qui règle la tension de la rotation de la barre de visée sur le cadran équatorial, est contrôlée par une compression d'un matériau feutré comme le crin. Nous avons utilisé le dessous d'un tapis. Nous avons inséré une barre pour tenir le tout provisoirement. On installe ensuite la poutre du châssis et de la barre de visée sur le plateau supérieur de la cale de 23,5° d'angle, avec sa barre provisoire.

## Le cadran annuel

Un cadran annuel de 30,48 cm, indiquant les degrés de longitude à partir de l'équinoxe vernal, est ensuite monté sur la poutre supérieure, en même temps que la barre maîtresse de visée (**photo 5** et **6**). Le tout est maintenu fermement par des cales de papier. Il n'y a pas besoin de mouvement souple sur cette poutre car elle est mise en place chaque jour ou chaque soir, et ne change pas pendant une session d'observation.

On installe ensuite le cadran vertical, gradué en demi-degrés, qui, s'il est monté sur le cadran annuel, donnera une lecture directe (sans calcul) de la latitude céleste des planètes et de la Lune, au-dessus ou en



Photo 4



Photo 5

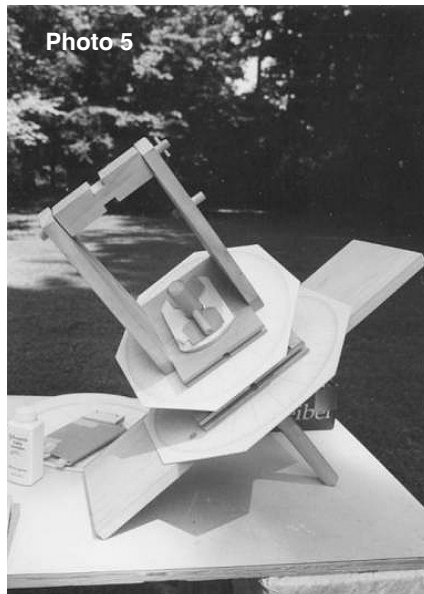


Photo 6



dessous de l'écliptique (**photo 7**). S'il est directement monté sur le cadran horaire, sans la cale, il donnera une lecture directe de la déclinaison des objets célestes, au-dessus ou en dessous de l'équateur céleste.

Ensuite, on installe le repère du cadran de déclinaison (un fil fixé avec de la colle) ainsi que le repère du cadran annuel de 30,48 cm (**photo 8**).

On termine ainsi l'assemblage de l'instrument, qui est maintenant prêt pour être monté dans son élément inférieur, comme le montre la **photo 9**. Avant de monter la barre de visée et ses instruments, nous devons d'abord comprimer le crin sur la poutre maîtresse afin d'assurer le mouvement souple du cadran horaire.

On se procurera une planche inférieure avec une entretoise et des cales afin de comprimer doucement le cadran équatorial, dans le but de limiter au maximum tout jeu entre ce cadran et la planche inférieure de 23,5° d'angle, tout en permettant un mouvement souple.

Ensuite, on monte la barre de visée avec son instrumentation (**photo 10**).

De nombreux systèmes de visée ont été envisagés. Pour l'instant, les meilleurs résultats pour les observations solaires diurnes ont été obtenus, pour la hausse, avec un orifice de 6,35 mm dans un morceau de bois. Le repère intermédiaire, lui, est un réticule utilisé pour l'alignement de l'image du Soleil. Ce réticule consiste en deux fils collés. Quant au

guidon, c'est sur une feuille de papier que l'on voit l'image du Soleil (à travers l'ouverture de la hausse) avec la surimpression du réticule (**photo 11**).

Pour les observations nocturnes, on utilise seulement deux repères de visée : le réticule devient le guidon et la planche trouée devient la hausse. On peut pratiquer une technique de géomètre qui a fait ses preuves : en observant, il faut garder les deux yeux ouverts et l'esprit concentré seulement sur l'objet céleste, et non sur le dispositif de visée.

On vise le Soleil à l'aide de deux mouvements différents (**photo 12**). Pour un droitier, le mouvement vertical de la barre de visée est actionné par la main droite qui la fait monter ou baisser.

Photo 7

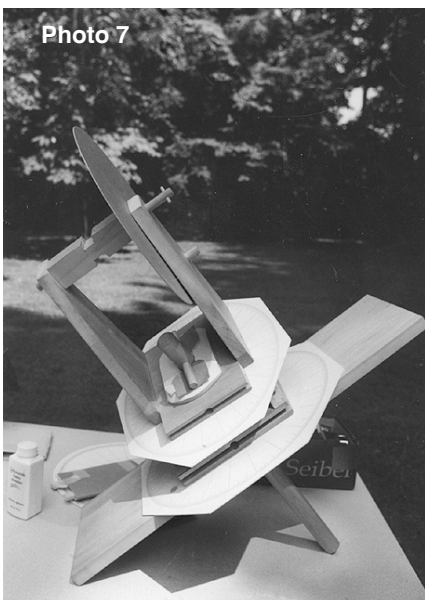


Photo 8

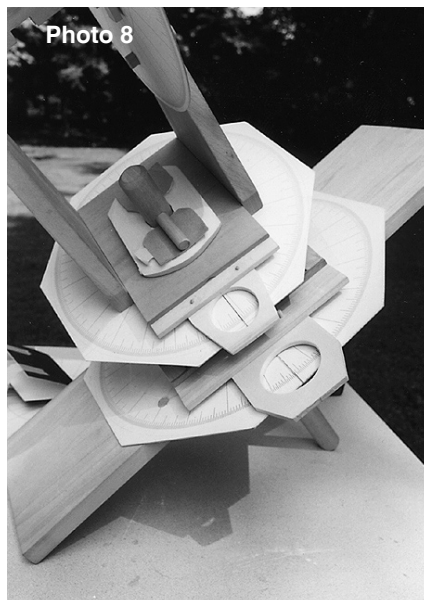
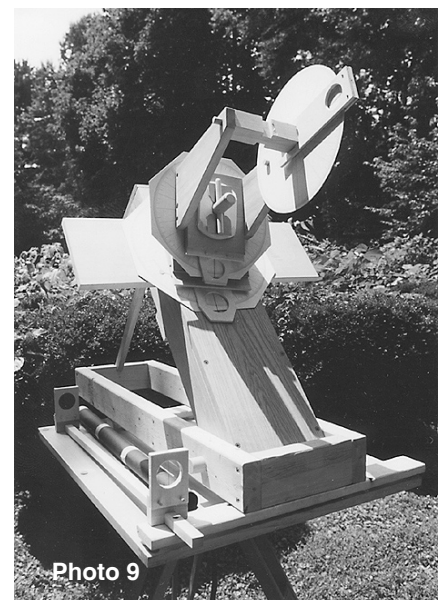


Photo 9





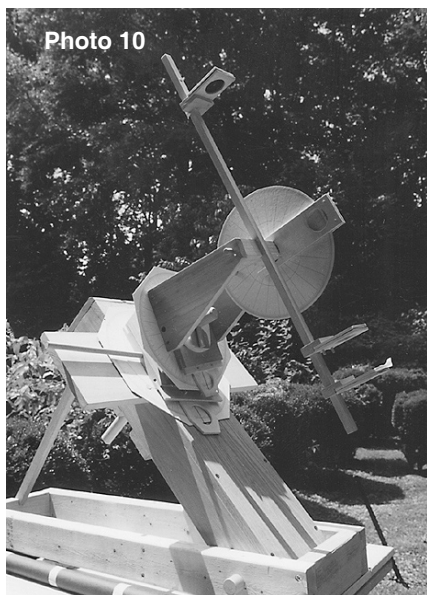


Photo 10

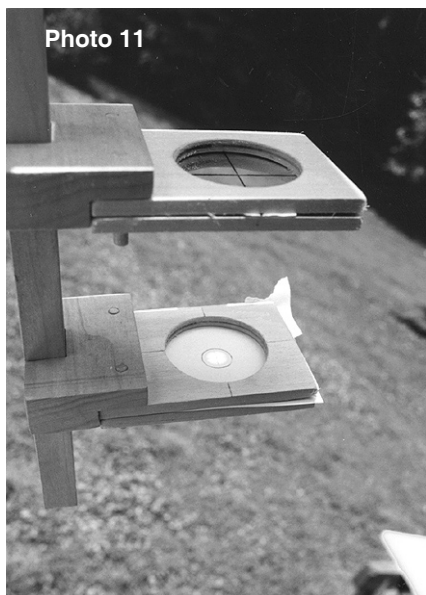


Photo 11



Photo 12

Le mouvement horizontal de l'instrument est contrôlé par la barre de rotation tenue par la main gauche. En aucun cas, on ne doit faire subir de torsion à la barre de visée. Quand les réticules sont visibles et que l'image est au point, on peut facilement observer le Soleil avec une exactitude d'au moins 0,25°, ou une minute de temps (**photo 11**).

La **photo 13** montre le côté est du torquetum. La position longitudinale du Soleil le long de l'écliptique détermine l'ajustement de tout l'instrument.

## La preuve du principe

Pour nos premières observations

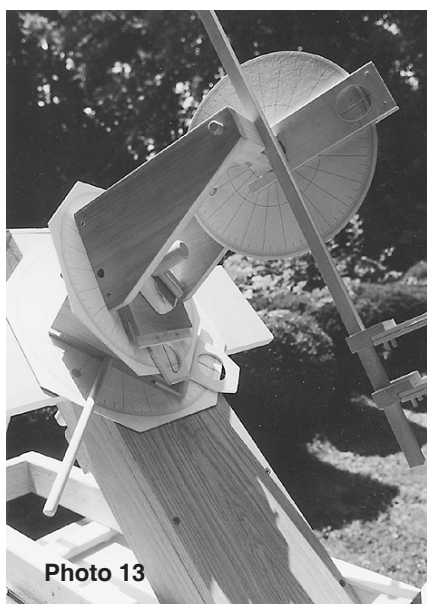


Photo 13

expérimentales destinées à prouver que l'on pouvait, en principe, déterminer la longitude, nos mesures ont été établies à l'aide d'un torquetum simplifié, sans la cale de 23,5°. Ce torquetum minimal possédait seulement le cadran équatorial de 35,56 cm, pointant vers l'équateur céleste, qui mesurait directement un angle sidéral le long de la sphère céleste, connue comme étant la distance lunaire.

La **photo 14** montre la face est du torquetum complet, équipé d'instruments de visée solaire, dans une installation prête pour enregistrer des observations.

Une fois que notre torquetum est assemblé, nous pouvons maintenant rassembler un grand nombre de données, en particulier la déclinaison du Soleil à midi et l'équation du temps (en comparant nos montres numériques avec l'arrivée du Soleil sur la ligne sud chaque jour). Cette fameuse équation du temps, causée par les « accélérations » et les « ra-



Photo 14

lentissements » du Soleil, va nous obliger à réfléchir sur le fait que le système solaire ne peut pas être constitué de cercles arbitraires avec des mouvements uniformes.

Par exemple, pourquoi les équations du temps possèdent-elles deux pics et deux creux pendant l'année (**tableau** ci-dessous), alors que la déclinaison possède seulement un pic et un creux lors de la même période ? Pourquoi les équations du temps ne s'approchent-elles pas de zéro aux équinoxes ? Pourquoi les nombres de jours entre les saisons ne sont-ils pas égaux ? ■

## Equations de temps

Voici les équations de temps, en minutes, pour certains événements particuliers, extraites des données concernant la longitude zéro pour les années 1990 et 1991 :

21 mars	+7,24 équinoxe
16 avril	0,00
14 mai	+3,71 pic
14 juin	0,00
22 juin	-1,90 solstice
25 juillet	-6,50 creux
2 sept.	0,00
24 sept.	+7,90 équinoxe
3 nov.	+16,42 pic
22 déc.	+1,50 solstice
26 déc.	0,00
11 février	-14,24 creux

Source : d'après des données extraites de l'*Astronomical Almanac* de 1990 et 1991.