
La gnomonique d’Oronce Fine (1494–1555) : Les Livres II, III et IV de la partie gnomonique du Protomathesis (1532)

par Éric Mercier

MOTS CLEFS

XVI^e siècle ; anneaux de paysan ; quadrant vetus ; quadrants horaires ; sphère plate universelle ; anneau universel ; cadran universel ; navicula.

RÉSUMÉ

J’examine ici la seconde moitié de la partie gnomonique du Protomathesis d’Oronce Fine ; c’est-à-dire ses Livres II, III et IV. Le but est d’évaluer la qualité scientifique pour juger de la pertinence de « critiques », ou ce qui a été interprété comme des critiques, que l’on rencontre dans la bibliographique, notamment ancienne. Comme pour la première partie, je montre qu’il s’agit du travail original, de bonne tenue scientifique, qui a beaucoup influencé ses successeurs. Les critiques qui ont pu être faites sont généralement soit fausses, soit exagérées par les historiens des sciences.

©2021 CCS/SAF. Publié par la CCS. Cet article est publié sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Remarque initiale : cet article constitue la suite et la fin d’une étude publiée dans Cadran-Info n° 41 [Mercier, 2020].

6 Le Livre II de la quatrième partie du « Protomathesis »

Le titre de ce Livre est « *Des autres horloges, avec la description du cylindre et de l’anneau ainsi que du quadrant ; le tout basé sur la course du Soleil telle que la fonde l’Astronomie. Finalement la description de nouvelle conception de l’horloge hydraulique selon l’auteur* ».

Livre II ; Proposition 1

Comme pour le Livre I, Fine rentre directement dans le vif du sujet, et c’est curieusement dans la première proposition qu’il évoque le but de son second Livre. Celui-ci est de trouver

l'heure égale autrement que par l'emploi de « *style, fils et autres artifices* ». Après cette déclaration, Fine ... fait exactement le contraire et annonce qu'il va nous montrer comment utiliser la longueur de l'ombre d'un gnomon vertical pour déterminer l'heure égale. Toujours sans démonstration mathématique, il nous fournit un tableau (fig. 22) construit pour un gnomon de 12 unités pour la latitude de 48° 40' qui est celle du milieu du 7^e climat¹⁶. La longueur de l'ombre est donnée dans cette unité, et les fractions d'unité sont indiquées dans le système sexagésimal (une longueur d'ombre de 2,5 gnomons est notée : 24 unités et 30 minutes).

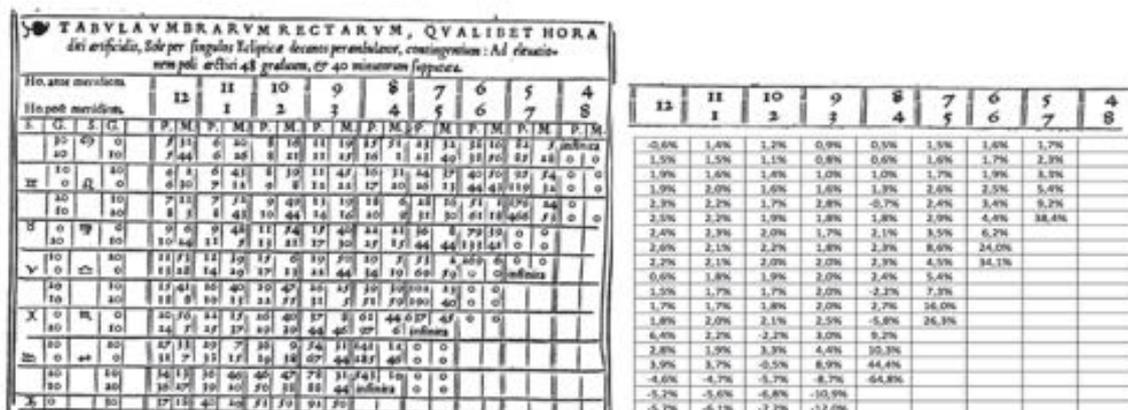


FIGURE 22 – Tableau des longueurs de l'ombre horizontale pour un gnomon de 12 unités pour la latitude de 48° 40' ; et erreurs, en (%) par rapport au calcul moderne. Échelle verticale en degrés du Zodiaque (le Solstice d'été est en haut).

On constate que les valeurs de Fine souffrent généralement d'une légère sur-évaluation. Les erreurs ne sont réellement significatives que lorsque le Soleil est proche de l'horizon. Cette dérive est probablement causée par l'imprécision des tables trigonométriques médiévales de tangentes (ou leur équivalent) qui deviennent sans doute très imprécises avec les angles proches de 0° ou de 90°. Fin Novembre, à 16 h solaire, quand le Soleil est à 2,08° d'altitude, on peut comprendre que Fine calcule une ombre de 543 unités alors qu'elle n'en fait en réalité que 329. Mais de toute façon, cela n'a pas d'incidence sur l'aspect pratique car aucun cadran n'a un rayon qui atteint plus de 20 fois la hauteur du gnomon. On peut donc considérer que cette table est de bonne qualité. Par ailleurs, Fine nous suggère que construire une règle de la longueur du gnomon, divisée en 60, pour mesurer directement l'ombre au sol, et en déduire l'heure à l'aide de sa table.

Ce qui précède démontre que, bien qu'il ne dise pas comment sont fait ces calculs¹⁷, Fine est capable d'établir à tout moment la hauteur du Soleil. Nous l'avons vu dans le livre I, il est évidemment capable de calculer son azimut. Il est donc, potentiellement capable de dessiner les arcs de déclinaison sur ses cadrans plans. L'absence de toute allusions au dessin de ces arcs dans le Livre I, est vraiment surprenante¹⁸.

16. Latitude qui, rappelons-le, est caractérisée par un Solstice d'été avec précisément 16 h 00 de jour clair et donc 8 h 00 de nuit.

17. Pour avoir une explication mathématique, il faut aller au 4^e Livre de la Cosmographie du même *Protomathesis*. Elle est par ailleurs résumée, en termes contemporains, dans [Drinkwater, 1993b].

18. À moins qu'il n'est pas envisagé, en dehors de cette proposition et la suivante, l'existence de styles polaires de longueur déterminée, ou qu'il n'ai pas fait le lien entre un gnomon vertical et l'extrémité de ce style polaire. Si c'était le cas, ce serait une nouvelle preuve de sa méconnaissance du traité de Munster [1531], par exemple.

Livre II; Proposition 2

Cette proposition est une sorte de symétrique de la précédente, à ceci près, que le gnomon est horizontal et donc l'ombre verticale. Fine propose un tableau équivalent du précédent, ainsi qu'une règle qui, elle, est originale (fig. 23). Elle diffère par le fait que le gnomon est intégré à la règle de lecture et que celle-ci fait plusieurs fois la longueur du gnomon. Il s'agit donc d'un cadran vertical portable, mais qui ne peut être utilisé qu'avec la table fournie dans l'ouvrage.

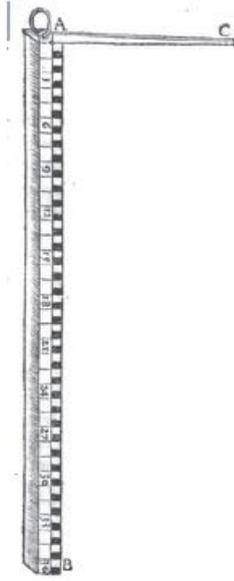


FIGURE 23 – Instrument de mesure de l'ombre qui permet, avec un tableau fournis par Fine précédemment, de trouver l'heure.

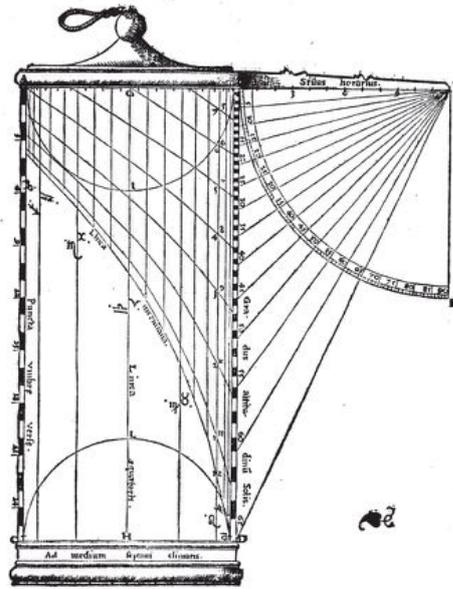


FIGURE 24 – L'illustration du cadran de berger. Ce n'est pas une vue qui se veut réaliste, en dépit du style de dessin du chapeau et de la base, mais c'est un schéma de construction pas très habile (voir texte).

Livre II; Proposition 3

Il s'agit maintenant de construire un cadran de berger. Rappelons que ces cadrans n'ont rien à voir avec les bergers de Pyrénées [Savoie, 2012]. Avec ce qui précède, on s'attendrait à une explication simple et directe. Curieusement Fine se lance dans une explication compliquée avec manifestement au moins trois anomalies (fig. 24).

1. La figure montre que l'échelle est en hauteur du Soleil, alors que rien, dans ce qui précède, ne nous a instruit de la transformation des hauteurs en heures (cela viendra avec la proposition suivante).
2. En dépit de la vision très réaliste du sommet et de la base du dessin, ce n'est pas une vue en perspective qui est présentée, mais un dessin qui sera collé sur la moitié du cylindre. Ce dessin, qui ne représente que la moitié du cylindre donc, expose tous les signes du Zodiaque, exactement comme si l'autre face devait restée vierge.
3. Pour dessiner les différentes verticales marquant le passage d'un signe à l'autre, deux demi-cercle équinoxiaux (CLD & AIE), alors qu'il s'agit là de repère dont la position est purement conventionnelle. En effet, l'écartement de ces lignes peut être quelconque et le plus simple est certainement de choisir un rythme régulier. On retrouve ici deux

tendances de Fine qui ont déjà été signalée : une maîtrise approximative de la perspective (voir la pseudo projection d'Oughtred du Livre I, prop. 15) et l'ajout inutile d'éléments scientifiques (voir l'usage de l'inclinaison de l'écliptique et du cercle équinoxial dans la proposition 12 du Livre I). Ces choix, conscients ou non, sont très difficiles à expliquer.

Au total on peut douter qu'il n'ait jamais eut ce genre d'instrument dans les mains . . . Il s'est probablement inspiré d'un manuscrit médiéval altéré ou peu clair, car il est probable, encore une fois, qu'il ne s'est pas inspiré de Munster [1531]. Ce dernier a notamment choisi logiquement un écartement régulier entre les lignes de signes.

Livre II; Proposition 4

Le but de cette proposition est de dessiner « les heures, à l'intérieur concave d'un anneau, en se servant de ce qui précède et en tenant compte de la latitude », donc de concevoir un « anneau de paysan », valable pour une seule latitude, mais surtout sans pièce mobile (œilleton fixe). Fine commence par nous donner la hauteur du Soleil selon l'heure et la période de l'année, mais contrairement aux tableaux précédents, il se limite aux solstices et aux équinoxes, pour les autres mois zodiacaux il ne nous donne que la hauteur à Midi et à l'heure entière la plus proche du lever (ou du coucher) du Soleil (fig. 25). Cette limitation est justifiée vu la méthode de tracé qu'il utilisera ensuite.

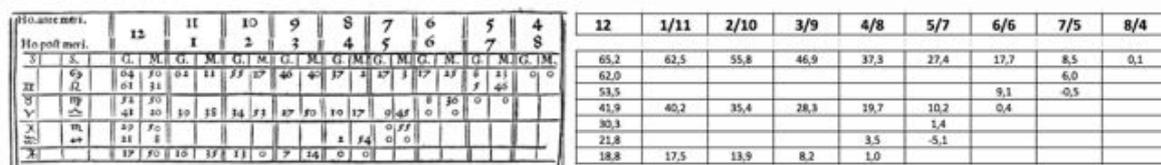


FIGURE 25 – Hauteur du Soleil selon la date et l'heure, à 48° 40', et tableau équivalent d'après un calcul moderne; les résultats sont raisonnablement proches.

Pour la construction, Fine utilise le théorème des angles au centre¹⁹, mais il ne le dit pas. Il propose de construire, en bas à gauche de la figure 26 page suivante, une échelle de 90° dont la longueur est égale à la demi circonférence de son anneau (soit 180°). Il donne ses instructions pour graver un ruban de métal plat qui sera ensuite transformé en anneau. Seule la partie centrale de la figure originale nous intéresse ici. Notons que Fine nous fait construire deux demi-instruments (un pour l'équinoxe d'automne à celui de printemps (à gauche), et l'autre pour le reste de l'année); c'est une utilisation optimum de l'espace disponible qui permet une meilleure précision du tracé. Ces deux demi-instruments sont en relation avec deux trous (milieux de KM et IL). Ces trous sont implantés, à l'aide de l'échelle de 90° évoqué précédemment, de telle sorte qu'ils soient à la « co-latitude +23,5° »²⁰ du centre de la bande. Toujours avec la même échelle, on place ensuite les amorces de ligne horaires pour les équinoxes (à droite et à gauche sur un de coté de la bande) et pour les solstices (sur l'autre côté, à droite pour le Solstice d'été et à gauche pour l'autre) en utilisant les données de la figure 25. Il ne reste plus qu'à tracer les lignes horaires (12, 11/1, 10/2 . . .) en joignant les amorces, et tracer les lignes de changement

19. Le théorème de l'angle au centre affirme que, dans un cercle, un angle au centre mesure le double d'un angle inscrit interceptant le même arc.

20. C'est la hauteur méridienne au Solstice d'été.

de signes intermédiaires du zodiaque à l'aide de $1/4$ de cercles équinoxiaux, représentés à droite et à gauche de la bande. Ce tracé rectiligne est globalement correct.

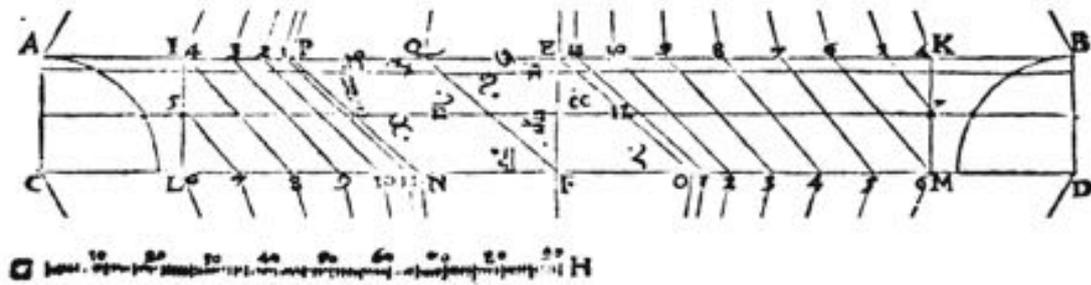


FIGURE 26 – La construction d'un anneau a deux œilletons fixes (extraits de la figure originale).

Ce genre de cadran à œilletons fixes semble assez rare ; il y a quelques années, un d'entre eux, considéré comme étant du XVI^e siècle, a été vendu sur « lotsearch.com ». Un autre, daté de 1736 est conservé au *British Museum* (inv. 1876,1214.21). Le site « shepherdswatch.com » vend une reproduction très similaire, présentée comme celle d'un anneau prussien de 1704 (fig. 27). On remarquera la grande similitude du tracé intérieur avec celui de la figure de Fine. Munster [1531, p. 155] évoque et illustre ce type d'anneau, mais pas les trois suivants dont nous allons discuter maintenant.



FIGURE 27 – Deux vues de sens opposé de la reproduction de l'anneau prussien de 1704 (shepherdswatch.com) : comme sur l'anneau de Fine, il y a un œilleton pour l'été et un pour l'hiver (marqués ici par les lettres S et W : Sommer & Winter en allemand), par ailleurs le tracé intérieur correspondant parfaitement à la construction de Fine, mais ajusté à 51° N.

Livre II; Proposition 5

Fine nous propose ici un second type d'anneau, toujours pour une latitude fixe, mais gravé sur la face extérieure de l'anneau.

Fine nous fournit d'abord un tableau quasi équivalent à celui de la figure 25, à ceci près que toutes les hauteurs sont divisées par deux. Puis il indique le principe de construction (fig. 28) qui ressemble beaucoup à la précédente, avec quelques modifications :

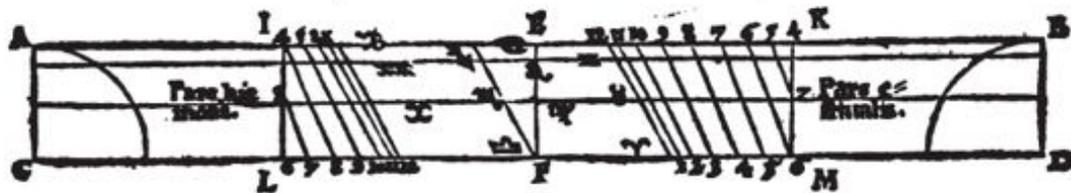


FIGURE 28 – Principe de construction de l'anneau sans œillets.

- Il n'y a qu'un œillette (au milieu de EF, non indiqué sur la figure originale), le rayon solaire qui le franchit n'indique pas l'heure, mais sert à mettre en station l'anneau.
- Les hauteurs horaires ne sont pas comptées par rapport à des lignes situées au quart de la longueur de l'anneau déroulé (KM et IL). En réalité, c'est ce que l'on déduit de la figure originale car les explications de Fine sont erronées.
- Ces hauteurs sont comptées avec l'échelle de 90° précédente, mais elles sont déterminées avec le tableau évoqué immédiatement au-dessus. Ce qui revient à utiliser le tableau de la figure 25 page 76, avec une échelle de même longueur mais graduée de 0° à 180°.

Pour utiliser cet anneau, il faut orienter l'œillette vers le Soleil et faire en sorte que le rayon qui passe par ce trou touche le point opposé de la face interne (cible de la figure 29 page ci-contre). Pour cela, il faut suspendre l'anneau par un point qui est au niveau d'une des deux échelles horaires, laquelle doit être choisie en fonction de la saison. C'est ce point de suspension qui indique l'heure. La lecture nécessite donc une manipulation, contrairement au cas de l'anneau précédent. La démonstration géométrique, que selon son habitude Fine ne donne pas, est esquissée à la figure 29 page suivante. L'angle au centre entre le point de suspension et la perpendiculaire au diamètre qui passe par l'œillette, est égal à la hauteur du Soleil (h). De ce fait, l'arc indiqué en vert est égal à la moitié de celui en rouge. Pour le tracer sur l'instrument, on peut donc reporter h selon une échelle moitié de celle de la proposition précédente, ou, et c'est ce qu'à bizarrement choisi de faire Fine, utiliser la même échelle et diviser les hauteurs solaires par deux. Notons enfin que Drinkwater [1993b] reprend, sans la commenter, la méthode erronée de Fine de localisation des lignes horaires et donne une mauvaise interprétation de l'usage de cet instrument ²¹.

Livre II; Proposition 6

Avant de décrire l'anneau classique, avec une échelle horaire unique, mais un orifice mobile qui se règle en fonction de la période de l'année, Fine nous entraîne dans la fabrication d'un cadran de hauteur sur un disque, ayant la même théorie, mais sans doute plus facile à comprendre et/ou à expliquer selon lui. C'est toujours la latitude de 48° 40' qui est choisie. Il commence par nous fournir deux tables :

21. Je remercie sincèrement Yvon Massé qui m'a beaucoup aidé dans la compréhension du fonctionnement de l'instrument, et des carences dans l'explication de Fine.

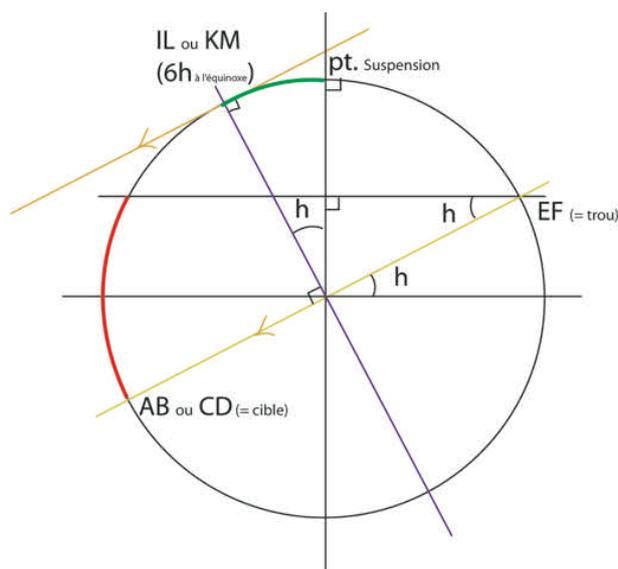


Figure 29 – Démonstration de la proposition 5 de Fine, voir texte. Les lettres repères sont les mêmes que celles de la figure 28 page précédente.

- la première est une table des hauteurs méridiennes pour les degrés de l'écliptique de 10° en 10° (c'est en fait la 1^{re} colonne de la figure 25, mais en plus détaillée),
- la seconde est une table des différences entre la hauteur du Soleil pour chaque heure et la hauteur méridienne, mais seulement aux équinoxes et aux solstices.

Puis, il donne ses instructions pour construire l'instrument (fig. 30) : le limbe de l'instrument circulaire est gradué deux fois de 0° à 90° . Puis on construit, à droite, des cercles concentriques représentant les limites des signes grâce à un demi-cercle équinoxial que l'on observe sur la figure 30. Le diamètre de ce cercle est indifférent. L'été est à l'extérieur. Puis on construit les lignes horaires en se servant du second tableau présenté en introduction de cette proposition (différences entre la hauteur du Soleil et la hauteur méridienne). Pour chaque ligne, seuls trois points sont déterminés, la ligne est tracée par interpolation. On pose ensuite un index mobile présentant un zodiaque homologue à celui du limbe. Sur ce zodiaque on place un porte-ombre perpendiculaire et mobile dans le champ du zodiaque. Sur le limbe, à gauche, on construit un nouveau zodiaque dont les limites correspondent aux hauteurs méridiennes (premier tableau présenté en introduction de cette proposition).

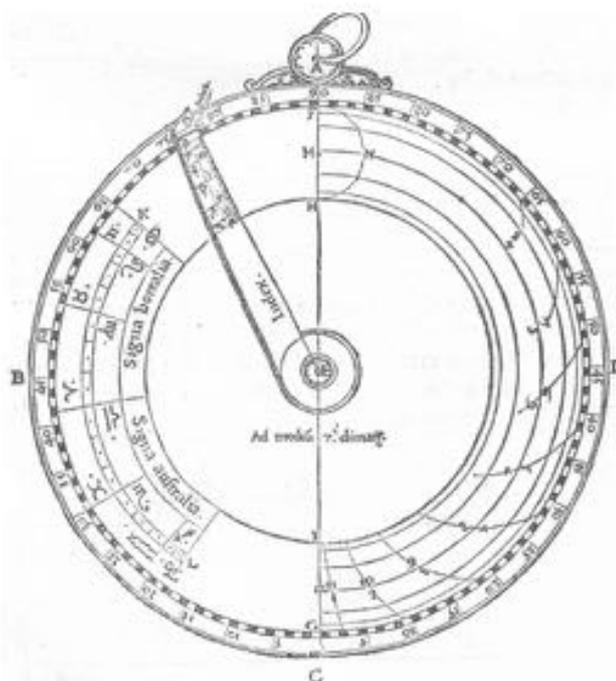


FIGURE 30 – Le cadran de hauteur de la proposition 6.

Pour lire l'heure, on règle le style et l'index selon la période de l'année, on oriente la tranche de l'instrument vers le Soleil, et on lit l'heure en tenant compte de la période de l'année.

Il est facile de prouver que la configuration de cet instrument est correcte.

Livre II; Proposition 7

Il s'agit des troisième et quatrième types d'anneau proposés par Fine.

Voyons d'abord l'anneau classique, avec un œilleton mobile dont la position se règle en fonction de la période de l'année. La théorie de cet anneau est entièrement comprise dans la proposition précédente, il suffit de supposer que le diamètre du demi-cercle équinoxial qui nous a permis de tracer le zodiaque de droite, est égal à zéro. Dans ce cas le porte ombre devient fixe sur son index. Transformons tout cela en un anneau avec un œilleton mobile à la place du porte-ombre et nous avons notre troisième type d'anneau (fig. 31)²². Terminons cette description par deux remarques :

1. Le cadran, tel qui est présenté par Fine ne peut pas fonctionner. Pour s'en convaincre il suffit d'imaginer un anneau en lieu et place de ce cadran et d'envisager le trajet d'un rayon le 21 décembre à midi. À ce moment, le rayon est quasiment tangent au cercle, il ne peut donc pas franchir l'œilleton. Pour que cela soit possible il faudrait que l'œilleton soit plus haut et donc que le point de suspension migre vers la gauche. C'est d'ailleurs ce que suggère Fine quand il dit que le point de suspension peut être quelconque et choisi de telle sorte que l'œilleton soit en face du Soleil.

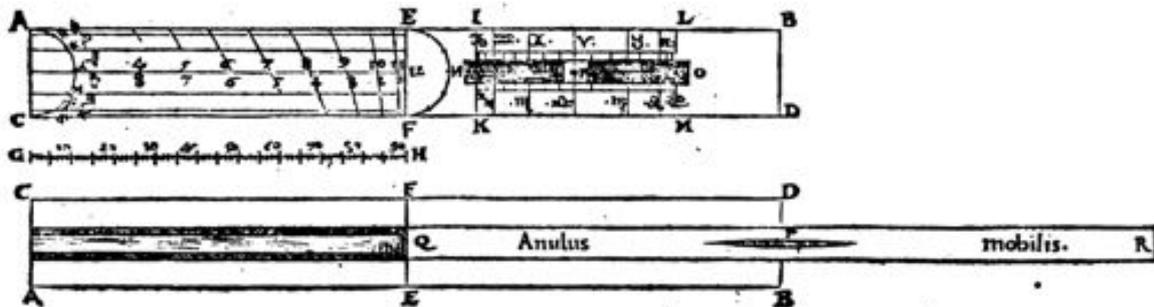


FIGURE 31 – Le troisième anneau, en haut la face interne avec une lumière partageant en deux le zodiaque, et en bas la face externe avec l'*Anulus mobilis* muni d'un œilleton circulaire en P. Dans la réalité on a intérêt à transférer le zodiaque en face externe pour faciliter le positionnement de l'œilleton (extraits de la figure originale).

Mais cette solution est incorrecte dans la mesure où elle se traduirait par une descente corrélative des lignes horaires et donc un changement des relations angulaires entre l'œilleton qui monte et les lignes horaires qui descendent. En fait, on peut se demander si Fine a construit lui-même ce genre d'instrument et y a appliqué cette solution ! La bonne solution est de remonter d'une valeur angulaire donnée, à la fois le système d'œilleton et son zodiaque, d'un côté de l'anneau, et les lignes horaires de l'autre côté lors de la conception de l'instrument. Cette double migration peut se faire sans inconvénients comme on peut facilement le montrer avec le Théorème des « angles au centre ». De fait, la totalité des anneaux anciens et modernes de ce type présente une telle double migration facilement repérable par le fait que la ligne du midi n'occupe pas la partie basse de l'anneau. Drinkwater [1993b] n'aborde pas cet aspect des choses. D'une manière générale, la construction des anneaux est très peu abordée dans la bibliographie postérieure au

22. Ce n'est évidemment pas de cette façon que Fine explique les choses ...

XVI^e siècle, tout au plus peut-on citer Sainte-Marie-Magdeleine (à partir de l'édition de 1657 de son traité), Bion [1709], Grandin [1723] et Montucla [1778]²³.

2. Comme le montre Fine, pour que l'instrument soit correct, il faut que l'échelle horaire soit fonction de la période de l'année. Ce n'est parfois pas le cas sur les productions contemporaines de série qui sont résolument fautives²⁴!

Le quatrième anneau est de nouveau un anneau à œillette fixe (fig. 32). Le zodiaque, dont la taille est diminuée de moitié²⁵ est déplacé, et le trou fixe occupe l'emplacement qu'il avait dans le premier anneau (hauteur méridienne au Solstice d'été mesuré avec l'échelle fournie). Le point de suspension est choisi sur le zodiaque en fonction de la période de l'année. La démonstration du caractère exact de cette solution ressemble beaucoup à celle de la proposition 6, nous nous en dispenserons ici. Ce type d'anneau ne semble jamais avoir été réalisé, ou du moins je n'en connais pas d'existant actuellement, ni de référence dans la littérature²⁶.

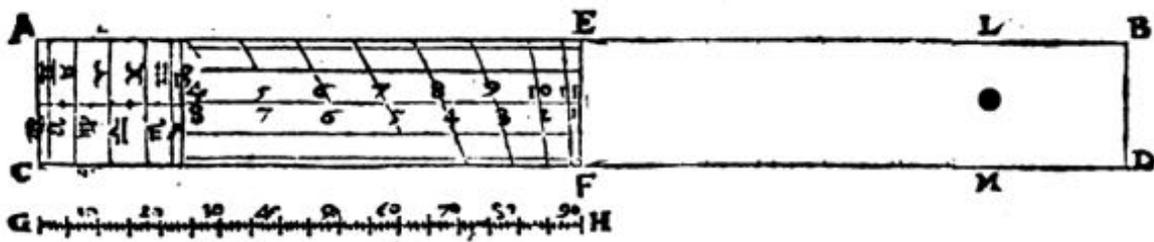


FIGURE 32 – Le quatrième anneau, figure reconstituée à partir des instructions de Fine.

Livre II; Proposition 8

Fine nous emmène maintenant dans un domaine beaucoup mieux balisé par la littérature moderne : les quadrants; et pour commencer le *Quadrant vetus* (ancien en latin) qui est un cadran universel globalement exact à latitude moyenne (fig. 33(a) page suivante). L'origine de ce dernier est arabe [King, 2002], et l'époque de Fine il existait sans doute une abondante littérature manuscrite médiévale à ce sujet [Pouille, 1972, 1983], car son usage était enseigné à l'Université jusqu'au XIV ou XV^e siècle. Bref son texte est sans surprise et je renvoie à [Dutarte, 2006, p. 201] ou [Savoie, 2014] pour une explication complète. Ce cadran repose sur un tracé que l'on rencontre dès le IX^e siècle dans le monde arabe : le diagramme des heures inégales. Archinard [2006] en a analysé l'approximation (tab. 1 page suivante).

23. Je remercie Yvon Massé qui m'a indiqué ces références. Sainte-Marie-Magdeleine [1657] s'inspire directement du premier anneau de Fine. Les trois auteurs ont des positions plus raisonnables que Fine sur la position de l'œillette. Bion [1709] n'expose la fabrication que d'un anneau à œillette fixe et unique. Il indique que cet œillette doit être situé à 45° du point de suspension, ce qui est une solution valide comme de nombreuses autres. Dans la dernière réédition de son ouvrage [Bion, 1752], il décrit le même anneau plus un anneau à œillette mobile. Dans les deux cas il précise que la position de l'œillette est arbitraire, Grandin [1723] et Montucla [1778] positionnent les œillettes à une distance angulaire du point de suspension égale à la latitude du lieu ce qui est sans doute le meilleur compromis possible.

24. Grandin [1723] et Montucla [1778] dénonçaient déjà cette pratique qui avait donc lieu également à leur époque.

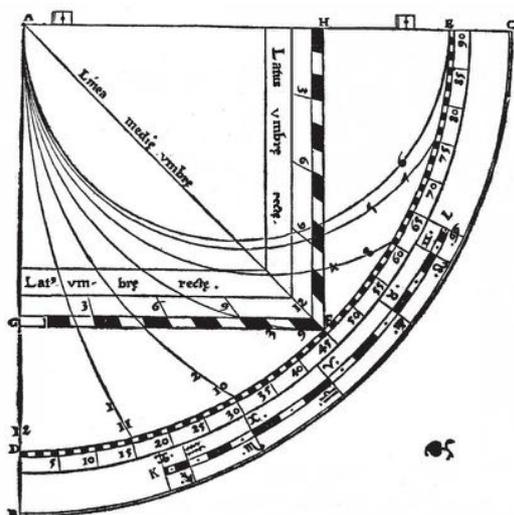
25. Pour constituer ce zodiaque Fine nous donne une table « nécessaire » qu'il n'explique pas, mais qui fournit, par décade, la moitié de la différence entre la déclinaison du jour et celle au solstice d'été. Cet artifice permet d'utiliser, pour construire le zodiaque, l'échelle de 180° qui est graduée de 0° à 90°. Que de complications inutiles!

26. Ce type d'anneau n'est pas cité par Cowham (2008) dans son ouvrage de synthèse sur les cadrans de hauteur.

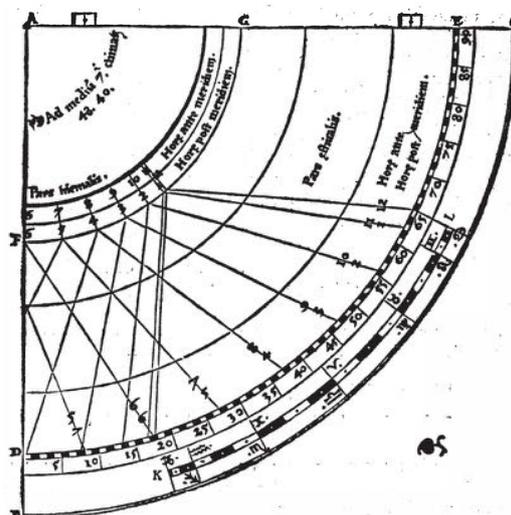
TABLE 1

Tableau des erreurs (en minutes d'heures égales) du diagramme des heures inégales [Archinard, 2006] en fonction de la déclinaison du Soleil et de l'heure inégale. Tableau pour 48° N.

δ	0 ^{hi} , 12 ^{hi}	1 ^{hi} , 11 ^{hi}	2 ^{hi} , 10 ^{hi}	3 ^{hi} , 9 ^{hi}	4 ^{hi} , 8 ^{hi}	5 ^{hi} , 7 ^{hi}	6 ^h
+23,5°	0	±12.3	±16.7	±16.1	±12.3	±6.6	0
+20°	0	±9.4	±12.8	±12.3	±9.4	±5.0	0
+10°	0	±3.6	±4.9	±4.7	±3.6	±1.9	0
0°	0	0	0	0	0	0	0
-10°	0	∓2.4	∓3.3	∓3.1	∓2.4	∓1.3	0
-20°	0	∓3.9	∓5.3	∓5.0	∓3.8	∓2.1	0
-23,5°	0	∓4.2	∓5.7	∓5.4	∓4.1	∓2.2	0



(a) Le cadran *vetus*



(b) Le cadran horaire à lignes horaires rectilignes

FIGURE 33

Livre II; Proposition 9

Il s'agit de réaliser un quadrant qui donne les heures égales et dont les lignes horaires sont rectilignes (fig. 33(b)). Le zodiaque est dans la même position que précédemment (équinoxe du Zodiaque sur la co-latitude) mais il est figé dans la mesure où ce quadrant n'est pas universel, mais valable à une seule altitude (48° 40' dans l'exemple de Fine). On trace le quart de cercle FG qui représente l'équinoxe. Le quart de cercle DE représentera, selon les cas, l'un ou l'autre des Solstices. Grâce au second tableau de la proposition 6, on repère ensuite sur ces limites les hauteurs du Soleil correspondants aux différentes heures égales et l'on joint les points correspondants pour matérialiser les lignes horaires. Il est possible de tracer les lignes de changement de signe intermédiaires en connaissant les hauteurs du Soleil à ces dates. L'utilisation de l'instrument est la même que précédemment avec une perle que l'on règle sur la

ligne de 12 h, le fil tendu vers la date du jour sur le Zodiaque (voir la mise au point de Savoie [2020] sur ce quadrant).

Livre II; Proposition 10

Il s'agit encore de tracer un quadrant qui donne les heures égales (fig. 34(a)), il n'est toujours valable que pour une latitude. On conserve le tracé la ligne horaire de 6 heure inégale qui nous servira de ligne de midi (12 h égales). On trace ensuite les Solstices et Équinoxes, pour cela on repère les intersections de la ligne horaire 12 h avec les rayons atteignant ces dates sur l'échelle du zodiaque. Puis, grâce au second tableau de la proposition 6, on repère la position de chaque heure égale sur les quarts de cercles des Solstices et Equinoxes. Puis on construit les lignes horaires par interpolation. Ce tracé était déjà connu au XV^e siècle au moins [Savoie, 2014] et il est dans Munster [1531, p. 148]. Il s'agit en fait de ce qui est généralement connu comme un « quadrant horaire ». Ce quadrant n'utilise que la ligne des 6 h du diagramme des heures inégales. Cette ligne est correcte (tab. 1 page précédente), le tracé de ce quadrant également.

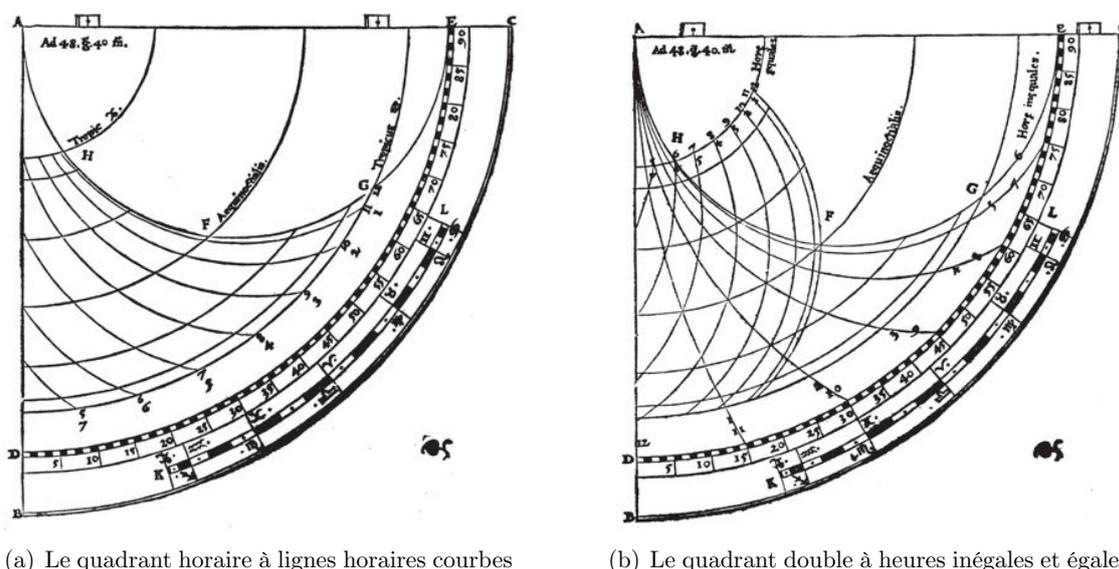


FIGURE 34

Livre II; Proposition 11

Fine propose de réaliser un quadrant qui cumule les heures égales et inégales. Bien sûr, il s'agit toujours d'un quadrant pour une latitude fixe. Comme il n'est pas question de superposer les deux quadrants (fig. 33(a) page ci-contre et 34(a)) à cause de la confusion des lignes, il inverse les Solstices et trace le quadrant à heures égales en tenant compte de cette modification (fig. 34(b)).

Livre II; Proposition 12

Immédiatement après ces instruments gnomoniques de hauteur, Fine nous propose un nouvel instrument, toujours de hauteur, mais universel (*horarium generale*). Il s'agit de la volvelle d'Apian ou plus précisément : la sphère plate universelle. Fine explique d'abord la

construction des trois éléments de l'instrument : mère, disque mobile et triangle avec le fil à plomb. Ces éléments sont illustrés indépendamment les uns des autres, mais Drinkwater

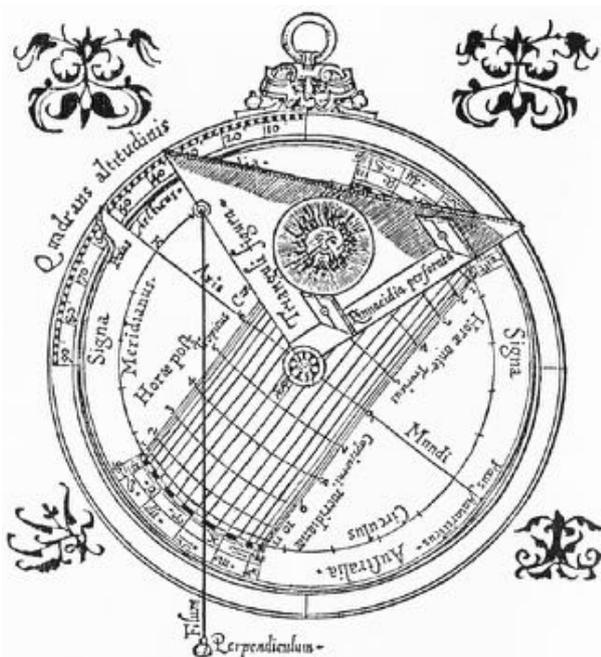


Figure 35 – L'aspect final de la sphère plate universelle par assemblage des différentes pièces illustrées par Fine (d'après [Drinkwater, 1993b]).

[1993b] a réalisé une vue finale reconstituée (fig. 35). Je ne détaille pas la méthode qui est assez proche de celle indiquée par Hauguel [2004, p. 151]. Je signale une réserve néanmoins sur la construction, Fine nous dit que les lignes horaires sont des arcs de cercle alors qu'elles devraient être des arcs d'ellipses, mais cela n'a sans doute qu'une influence très faible sur la précision de l'instrument. Après la construction, Fine nous enseigne l'usage qui est standard.

La question qui se pose, par rapport à l'objectif de cette étude, est de savoir si Fine a copié Apian [1524]²⁷, ou s'il a travaillé indépendamment de lui en s'inspirant de manuscrits actuellement perdus. Je penche pour la seconde hypothèse dans la mesure où :

- les dessins des deux auteurs ne sont pas directement superposables, par exemple Fine dessine l'échelle des hauteurs sur la mère, à gauche, alors qu'Apian la met à droite. Dans le contexte du XVI^e siècle où les auteurs se copiaient sans subtilités (voir exemple dans la 1^{re} partie) cette différence est sans doute significative.
- Fine propose une méthode de construction (l'épure est visible sur ses figures), alors qu'Apian fournit l'instrument fini, en papier, sous la forme d'une volvelle, et seulement quelques lignes d'explications.
- et surtout Fine ne parle jamais de la règle mobile (4^e constituant de l'instrument d'Apian) qui apporte pourtant des fonctionnalités supplémentaires (heures du lever, du coucher du Soleil et des crépuscules). On peut penser que si Fine avait copié Apian, cette règle serait présente sur son propre instrument.

Livre II; Proposition 13

Fine nous propose de construire un instrument particulièrement sophistiqué, universel, diurne et nocturne, basé sur la sphère armillaire. Comme précédemment, il nous présente des

27. Ou une des nombreuses ré-éditions de cet ouvrage. Par ailleurs, Munster [1531] ne parle pas de cet instrument.

figures des différents éléments constitutifs, mais pas de l'instrument complet. La figure 36 est un essai de reconstitution à partir des éléments fournis par Fine. Il ne semble pas qu'un instrument de ce type soit répertorié dans un musée ou dans une collection.

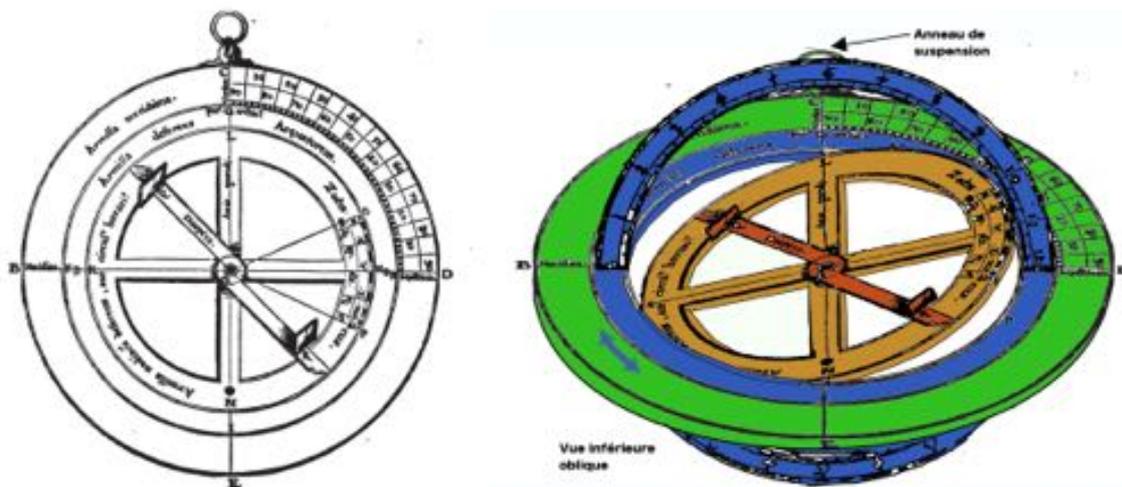


FIGURE 36 – Le dessin de Fine de l'instrument universel, et essai de vue 3D (en position inférieure oblique). Ne sont présentés que les éléments relevant de l'usage diurne. Chaque couleur caractérise un élément mobile par rapport aux autres (voir texte).

On distingue :

- le cercle extérieur, en vert sur la figure 36, l'*armilla meridiana* qui est solidaire de l'anneau de suspension. Un de ces quadrants est muni d'une double échelle de 0° à 90°.
- À l'intérieur et pouvant tourné par rapport au précédent, l'*armilla deferens* (en bleu) auquel sont solitaires deux demi-anneaux perpendiculaires, gradués de 1 à 12, au-dessus et en-dessous. L'axe du Monde, perpendiculaire aux armilles est repéré par une ligne et le point G.
- Le *circuli horari* (en jaune), qui peut tourner par rapport à l'axe LN. Il comporte un zodiaque dont les extrémités correspondent à l'inclinaison de l'écliptique. L'axe du Monde, perpendiculaire l'équinoxe du zodiaque est repéré par une ligne et le point L.
- Une alidade servant à viser le soleil.

Pour lire l'heure le jour, la procédure est la suivante :

- mettre G en face de la latitude du lieu de l'échelle intérieure de l'anneau vert ;
- mettre l'alidade en face du signe du Zodiaque, du cercle jaune, correspondant au jour ;
- orienter le point D du cercle vert approximativement, vers le Nord ;
- faire pivoter le cercle jaune autour de LN de façon à ce qu'un rayon du Soleil passe par les trous des pinnules de l'alidade, modifier si nécessaire l'orientation du cercle vert.

À ce moment-là, le bord du cercle jaune indique, sur les armilles bleues l'heure correcte.

Pour un usage nocturne, nous allons utiliser l'autre face de l'instrument après y avoir ôtés les armilles et ramené le *circuli horari* dans le plan principal (fig. 37 page suivante). Il s'agit simplement d'y dessiner un nocturlabe, comme celui du Livre I – proposition 18 (voir première partie), en exploitant la possibilité de rotation de l'*armilla deferens*. Pour cela il faut que

l'axe de rotation de l'alidade soit creux. On remarque que l'instrument est tenu à l'envers de façon à utiliser l'anneau de suspension comme poignée. Dans le Livre I, Fine considérait que son étoile des heures (*stella horaria*) (= β UMI) passait sur la ligne méridienne « sous » la Polaire, à minuit, quand le Soleil était au dernier degré de la Balance. C'est faux, comme discuté précédemment, il s'agit en fait du 15° degré du Scorpion. Très curieusement il considère ici, d'après son dessin, que cet événement a lieu vers 7° degré du Scorpion. C'est toujours faux, mais ce changement de date au sein du même ouvrage est surprenant.

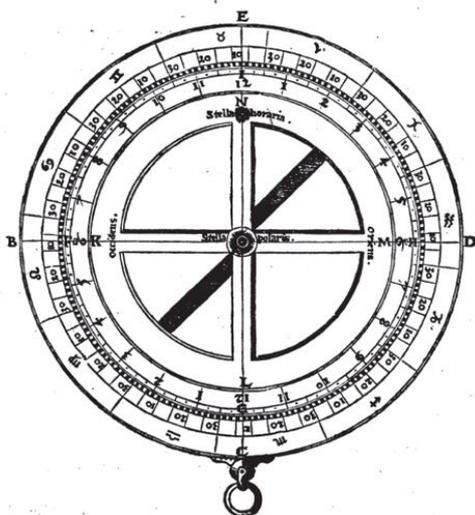


FIGURE 37 – Le nocturlabe au dos de l'instrument universel précédent.

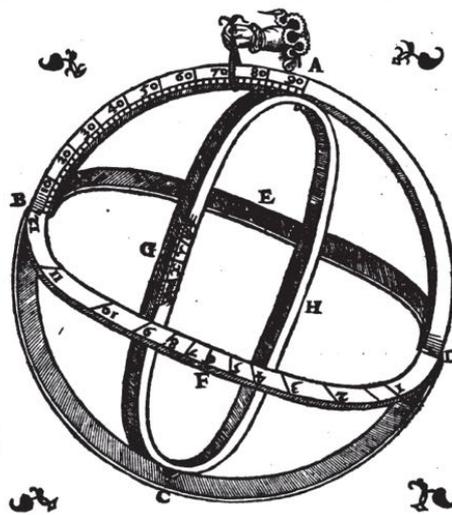


FIGURE 38 – La version simplifiée de l'instrument universel précédent.

Livre II; Proposition 14

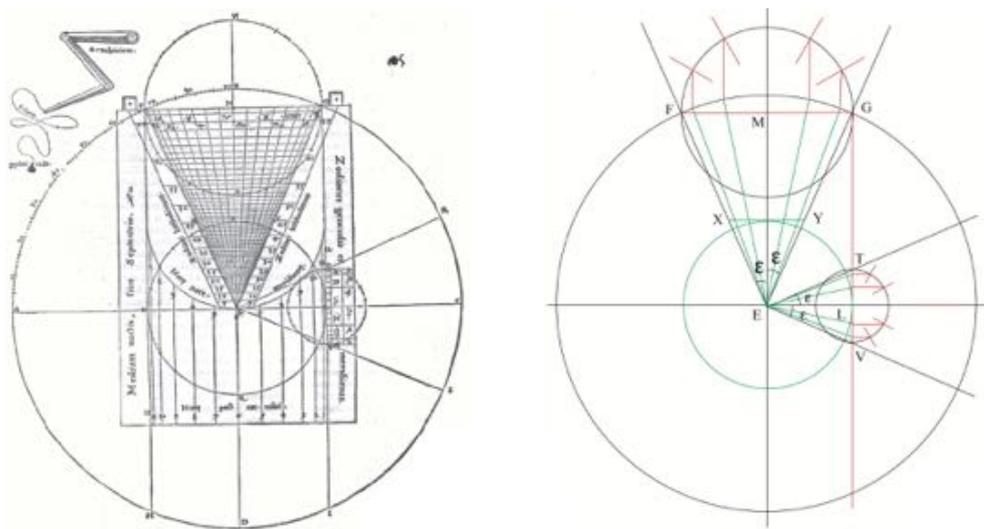
Comme la réalisation pratique d'un instrument comme celui de la proposition 13 est très délicate, Fine nous propose ici un équivalent plus simple (fig. 38). Pour cela il remplace l'anneau extérieur (*Armilla meridiana*) par un système basique de fixation mobile, et l'alidade par deux zodiaques en G et H de la figure 38, le zodiaque en H étant inversé (été en bas). Au niveau de G, il y a une fente sur toute la longueur du zodiaque (peu visible sur la figure) et un œilleton mobile qui doit être réglé sur la date du jour. Comme précédemment, l'anneau intérieur tourne autour d'un axe (ici AC). La procédure d'utilisation est similaire à celle précédente, à ceci près, qu'il faut, pour lire l'heure, que le rayon de Soleil qui passe par l'œilleton mobile en G, frappe le même signe sur le zodiaque H. Il est très probable qu'il était très difficile de régler l'anneau mobile tout en maintenant la verticalité de l'ensemble.

Livre II; Proposition 15

Fine nous décrit maintenant la fabrication, il semble qu'il soit le premier à le faire, et l'usage du cadran de Regiomontanus. Comme c'est assez général, sa figure montre les lignes de construction (fig. 39(a) page suivante). La méthode est très proche de celle résumée par Dutartre [2006, p. 245], je n'insisterai pas si ce n'est pour présenter la construction des zodiaques. En effet, Clavius [1581, p. 637] met en cause une des méthodes de Fine pour construire le zodiaque

latéral. Ce point constitue une des rares critiques de Clavius sur Fine²⁸ [Eagleton, 2009, note 69]. Voyons de quoi il s'agit (fig. 39(b)).

La construction débute (en noir sur la figure) par la construction d'un cercle de centre E et de rayon EF, puis le tracé de deux trigones perpendiculaires dont l'ouverture est égale à deux fois l'inclinaison de l'écliptique. Cela permet de construire les lignes FG et GV perpendiculaires, et de déterminer M et N milieux de ces segments. À partir de ces points on trace des cercles de diamètres FG et TV. La moitié de chaque cercle est divisée en 6 parties égales (en rouge) et par projection, on dessine les limites du zodiaque. Pour le grand zodiaque la projection se fait sur l'arc FG, alors que pour le petit, c'est sur la droite TV. C'est évidemment incohérent et seul le tracé du grand zodiaque est correct [De Vries F., 1999], [Gunella A., 2005]. Clavius [1581, p. 637] écrit à ce sujet²⁹ *de hallucinatus est Orontius* (Oronce est victime d'hallucination), *quod omnino falsum est* (cela est complètement faux), c'est évidemment très excessif et en partie injustifié dans la mesure où Fine nous propose une seconde méthode, exacte, pour tracer le petit zodiaque. Pour cette seconde méthode, on trace le cercle de centre E et de rayon EL ; on constate que le segment XY, tangent au cercle et divisé par les lignes vertes qui convergent vers E, est l'homologue de TV. Il suffit de le copier, avec ses divisions, vers cet emplacement. Cette méthode, qui exploite le tracé du grand zodiaque, est correcte ; alors pourquoi Fine propose-t-il une première méthode erronée ? Probablement parce qu'il juge que l'approximation est négligeable, ce qui est vrai ! En pratique la différence de tracé est imperceptible. Ceci nous amène à une seconde question : pourquoi Clavius a-t-il eut des mots aussi durs ?



(a) La construction des zodiaques du cadran de Regiomontanus

(b) Grand zodiaque (1 méthode) ; zodiaque latéral (2 méthodes) (voir texte)

FIGURE 39

En dehors de ce problème de tracé, la question des sources s'impose une nouvelle fois. La description de Fine est beaucoup plus complète que celle de Regiomontanus [1474] lui-même,

28. Clavius [1581, p. 155] indique et discute l'erreur des premières propositions du livre I (voir [Mercier, 2020], ce que n'indique ni Eagleton [2009], ni Leitão [2009].

29. Je remercie sincèrement Yvon Massé pour son aide dans la compréhension de la critique de Clavius.

ou que Munster [1531]. Fine connaissait-il ces ouvrages ? S'est-il inspiré des mêmes manuscrits que Regiomontanus qui ne prétendait pas être l'inventeur de l'instrument³⁰ ?

Livre II ; Proposition 16

Fine décrit ici (fig. 40) un instrument qu'il avait réalisé quelques années plus tôt, en 1524, pour François I^{er} : la *navicula* (fig. 41 page ci-contre). La superposition de la figures de Fine concernant la Navicula avec celle du cadran de Regiomontanus, montre que dans son esprit, il s'agit du même instrument (fig. 42 page suivante). Evidemment, il existe quelques différences et notamment que le trigone principal est remplacé par le mât du navire qui peut osciller entre deux positions extrêmes correspondant à + et – la valeur de l'inclinaison de l'écliptique. La conséquence, est que les lignes de latitude, droites dans le cadran de Regiomontanus, deviennent des arcs de cercles.

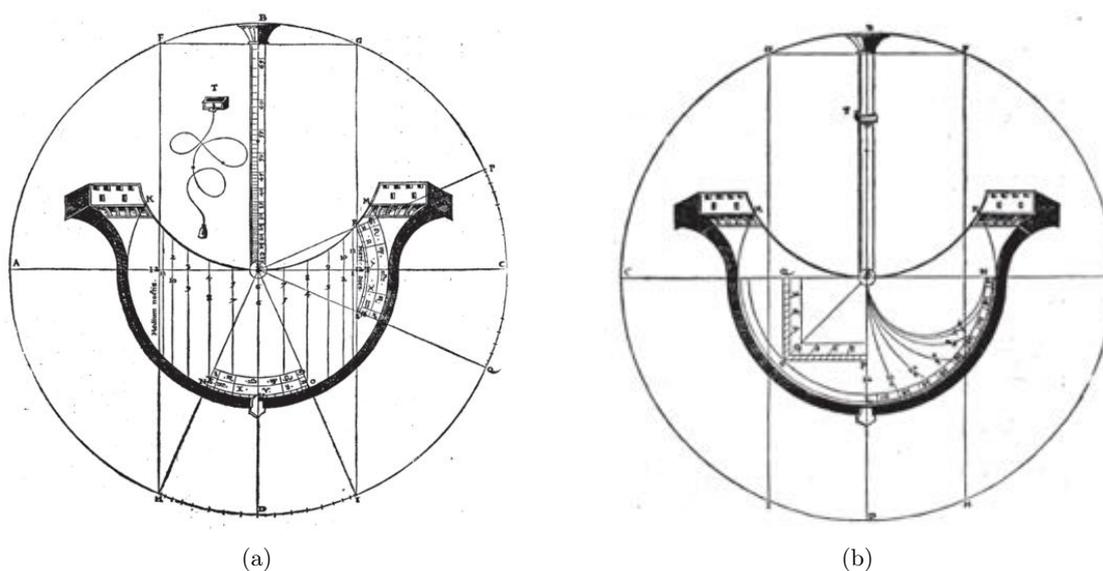


FIGURE 40 – Les deux faces de la *Navicula*.

Pour compenser l'erreur ainsi introduite, Fine donne au zodiaque latéral, une forme en arc. Cela n'est pas suffisant pour corriger l'erreur (voir [Massé, 2013]), et par la suite Bullant [1561] va modifier la géométrie de Fine pour essayer d'améliorer l'instrument, mais sans atteindre la précision des *navicula* médiévales, qui en dépit d'une forme très proche, étaient conçues sur d'autres principes ([Kragten, 1997], [Massé, 2009, 2013] ...) ³¹. Il semble que Kircher [1646, p. 506], un des très rares auteurs post-médiéval à évoquer la *navicula*, identifie également l'erreur ³², mais, pour la corriger, il propose une autre façon d'utiliser l'instrument avec une modification des graduations du mat ([Eagleton, 2009, note 66]).

30. Regiomontanus affirme s'être inspiré d'un *antiquus compositor*. Voir [E. Zinner, 1979, p. 112].

31. Eagleton [2009] a identifié une série de manuscrits du XV^e siècle décrivant la *navicula* médiévale, mais tellement altérés qu'ils sont à la fois faux et incompréhensibles. On peut penser, c'est ce que suggère Eagleton, que Fine n'avait à sa disposition que ce genre de source ce qui l'a conduit à « réinventer » l'instrument sur des bases très différentes, notamment en s'inspirant du cadran de Regiomontanus. Voir [Massé, 2013] pour un tableau complet sur les relations entre la *navicula* médiévale et la « réinvention / interprétation » de Fine.

32. « Oronce Fine, à son époque, avait commis involontairement cette erreur dans son ouvrage sur les Horloges ».



FIGURE 41 – La navicula signée d’Oronce Fine, datée de 1524 et conservée au Musée Poldi Pezzoli de Milan.

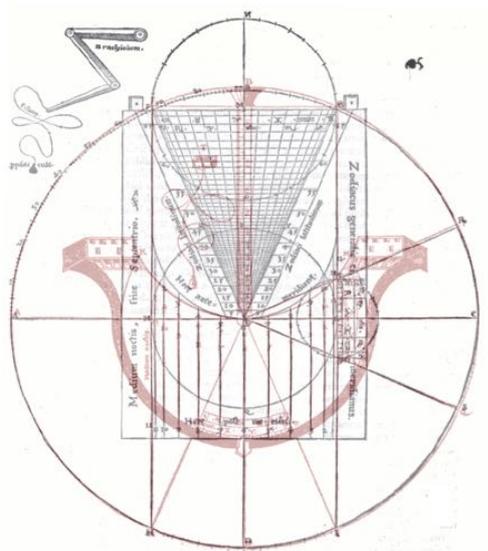


FIGURE 42 – Superposition des images de la Navicula d’Oronce Fine et du cadran de Regiomontanus.

Livre II; Proposition 17

Fine présente ici une horloge hydraulique de son invention, ce qui est en dehors de notre sujet. Je n’en dirai pas plus.

7 Discussion et Conclusion provisoires sur le livre II

Dans cette partie, on retrouve les qualités pédagogiques que l’on avait constaté dans la partie précédente ; l’iconographie est toujours de haute qualité, avec les traits de construction qui sont maintenus et suffisamment d’explications pour que le lecteur puisse construire l’instrument. L’impression d’originalité, par rapport aux travaux imprimés précédents, perdure : on se demande même souvent si Fine les connaissait. En tout cas, il ne les a pas simplement copiés comme cela se faisait très fréquemment à l’époque.

En conclusion de la première partie de cette étude, j’avais exprimé une surprise de ne pas voir abordé la question des arcs de déclinaison sur les cadrans plats. Dès le début du Livre II, Fine montre qu’il sait calculer la longueur d’une ombre à n’importe quelle heure de n’importe quel jour. Il a donc la possibilité de nous expliquer comment tracer les arcs de déclinaison, mais il ne le fait pas. Manifestement cela ne l’intéresse pas, il ne doit pas voir l’intérêt supplémentaire que représente le cadran à style polaire de longueur déterminé par rapport au cadran à style polaire de longueur non déterminé.

Au cours de la lecture, on retrouve toujours quelques complications inutiles difficilement explicables (comme pour le cadran de berger). Pour certains instruments, on a des doutes sur la connaissance pratique effective de l’auteur, c’était le cas du cadran de berger, ça l’est également des anneaux dont certains ne doivent pas être opérationnels toute l’année. Par ailleurs, quand Fine nous propose une solution pour les améliorer (anneau à œillette mobile), il commet une erreur grossière impossible à énoncer si son instrument avait fait l’objet d’un début

de réalisation ! On note également, comme dans le livre I, au moins une faute incompréhensible dans la rédaction, alors que la figure est correcte (cas de l'anneau de la proposition 5).

Une erreur plus fondamentale, mais elle a déjà été discutée dans la première partie, c'est celle qui concerne le nocturlabe, et notamment la deuxième version traitée dans ce second Livre. Là encore Fine se trompe dans le réglage de l'instrument, mais très curieusement, en utilisant une valeur différente de celle qu'il utilise dans le premier Livre et qui avait été dénoncée plus tard par Nuñez [1546]. Ces deux valeurs différentes et fausses, utilisées dans des figures de grande qualité, coexistant dans un même ouvrage posent problème.

Evoquons maintenant deux auteurs, qui selon Eagleton [2009] ont émis des critiques, ou des réserves, sur le travail de Fine. En ce qui concerne Clavius au sujet du cadran de Regiomontanus, nous avons vu que les critiques sont ponctuelles et très excessives. En ce qui concerne Kircher au sujet de la navicula, il est clair qu'il ne fait que relever une conséquence de l'approximation qui est à la base de la conception de Fine de la navicula. Mais il est clair également que Fine était bien conscient qu'il y avait une approximation (même s'il l'avait probablement mal évaluée), il nous propose bien ici un instrument approximatif, ce que Kircher confirme.

À la vue du deuxième livre, l'impression précédente, c'est-à-dire que la gnomonique de Fine apparaît comme originale et globalement correcte, demeure. Même s'il existe quelques imperfections, aucune faute majeure n'est décelable. Notamment, il semble que les « erreurs » signalées par Clavius et Kircher, et qui concernent ce Livre, n'en sont pas.

8 Livres III et IV de la quatrième partie du *Protomathesis*

En nombre de pages, ces livres III et IV représentent 13% de la partie gnomonique du *Protomathesis*. Ces deux livres ont un sujet unique : un quadrant original dont Fine revendique l'invention, et il n'y a aucune raison de contester cette revendication. Avant de détailler les explications de Fine, il me semble utile de préciser la terminologie que j'utiliserai en parlant des quadrants existant au XVI^e siècle. Ceci est particulièrement nécessaire vu la confusion qui règne à ce sujet dans la bibliographie.

Nous avons déjà évoqué le quadrant vetus (fig. 33(a) page 82), et le quadrant horaire (fig. 34(a) page 83), tous deux d'origine arabe (IX^e siècle) [King, 2002]. Le monde arabe a aussi produit, à partir du XII^e siècle, un quadrant astrolabique qui repose sur la théorie de l'astrolabe planisphérique (voir [Mercier, 2016]), contrairement au deux précédents, ce genre de cadran n'a pas son équivalent dans l'Europe latine médiévale. Comme le cadran horaire, cet instrument n'est utilisable qu'à une latitude. Au XIII^e siècle (vers 1288), à Montpellier, Profeit Tibbon (dit Profatius) (1236-1304), a inventé le *quadrant novus*, universel et qui repose également sur la théorie de l'astrolabe planisphérique. Mais cet instrument est totalement différent du quadrant astrolabique musulman. Pourtant, la quasi-totalité de la littérature anglo-saxonne confond les

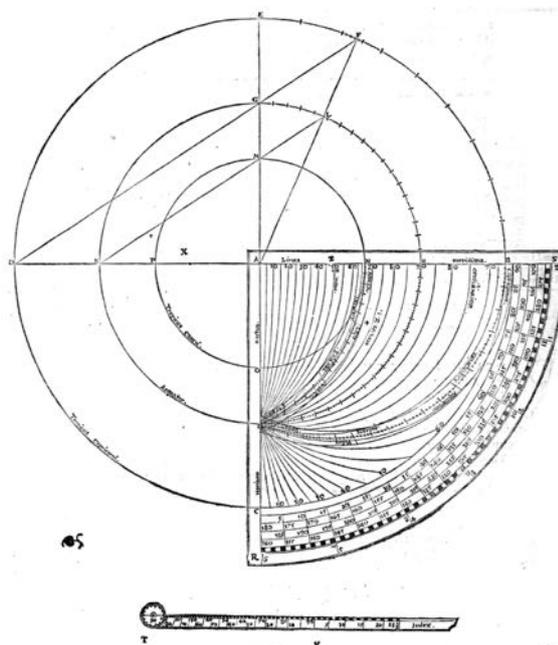


FIGURE 43 – Le quadrant des Livres III et IV.

deux. King [2014, p. 227], notamment, dénonce cet état de fait. Fine [1527] a publié un ouvrage sur ce *quadrant novus* (réédité en 1534 sous un autre nom), curieusement il ne l'a pas intégré dans son *Protomathesis*. Par contre, il y propose une variante de cet instrument, et c'est le sujet des Livres III et IV.

La face de ce quadrant, avec comme d'habitude, des lignes de construction, est illustrée à la figure 43 page ci-contre. C'est d'ailleurs la seule figure que Fine nous fournit pour l'ensemble des deux Livres. Le Livre III correspond au tracé de cet instrument.

Livre III; Propositions 1 à 5

Le quadrant de Fine, comme le quadrant astrolabique musulman, et le quadrant nouveau, correspond, fondamentalement à un astrolabe planisphérique plié en 4. On y reconnaît de nombreuses lignes convergentes qui correspondent aux horizons (fig. 44), l'écliptique graduée, et les 1/4 cercles concentriques des solstices et équinoxes qu'il nomme « tropique » et « aequator ». En projection stéréographique (celle de l'astrolabe), toutes ces lignes sont des arcs de cercles. Le tracé nécessite donc la détermination des centres respectifs de ces différents cercles. C'est l'objet de ces propositions 1 à 5. Je ne les reprends pas ici, la procédure de Fine est très proche, *mutatis mutandis*, de la méthode géométrique de construction de l'astrolabe exposée en termes modernes par Michel [1976], par exemple. Par ailleurs, on note l'existence d'un index avec deux échelles qui diffèrent par la position du zéro. Le limbe gradué de 0° à 360° est ici réduit à 4 échelles qui sont, du fait du pliage, alternativement en sens horaire et anti-horaire. Une échelle supplémentaire, à l'extérieur, est graduée en heures.

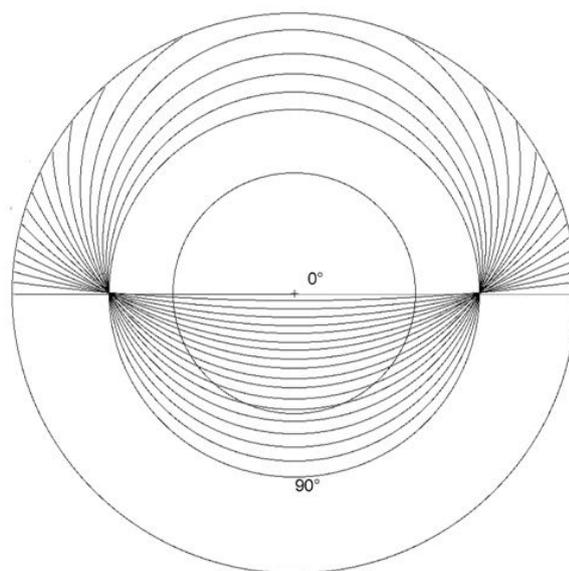


FIGURE 44 – Le tympan d'horizon d'un astrolabe planisphérique tel que celui utilisé par Fine, avant le pliage en 4. On y observe tous les horizons (de 0° à 90°) de 5 degrés en 5 degrés.

Livre III; Proposition 6

Fine nous indique ici comment placer des étoiles sur son instrument. Il nous indique les coordonnées (dans le système de l'époque c'est-à-dire médiation et déclinaison) de 21 étoiles et nous explique comment, très simplement avec l'index, localiser ces étoiles. On peut faire à ce sujet trois remarques :

- il n'indique sur son dessin et à titre d'exemple, que 3 étoiles sur les 21... C'est une des premières fois qu'il laisse un peu d'autonomie à son lecteur.
- il explique qu'à côté du nom de l'étoile, il faut indiquer le signe de la médiation de façon à ce que l'utilisateur sache dans quel quart d'astrolabe est situé l'étoile... Mais il ne le fait pas sur les exemples qu'il a choisis!

— il semble que Fine avait prévu de porter la liste à 24 étoiles avec une étoile dont la médiation est (ou était) dans le Verseau, et deux dans les Poissons³³. Mais il a n'a pas complété les informations ... Pourquoi ?

Nom	Médiation	Déclinaison	Signe de la décl.	Magnitude	Nom	Médiation	Déclinaison	Signe de la décl.	Magnitude		
										Declinar. u.c.	Declinar. u.c.
ζ Cet	Baten Kaitos	Venter Ceti	Y 23 18	44 39	M	2	Cauda Leonis	17 29 14	17 9	S	1
β And	Mirach	Vmbilicus Andro	Y 10 48	14 11	S	3	Spica Virginis	15 46	8 16	M	1
β Per	Algol	Caput Algol	S 11 33	19 31	S	2	Lanceator	29 41	44 43	S	1
α Per	Mirak	Declarius Persei	S 14 5	47 44	S	2	Corona septentr.	10 11	11 34	S	2
α Tau	Aldebaran (*)	Oculus Tauri	II 3 14	15 55	M	1	Lanius Meridionalis	11 5	13 20	S	2
α Aur	Capella	Hircos	II 18 40	44 36	S	1	Cor Scorpi.	1 45	44 50	M	2
α Ori	Betelgeuse	Hu draco Orio	II 22 47	6 16	S	1	Caput scorpiani	18 10	13 11	S	2
α CMa	Sinus	Canis maior	65 2 13	13 49	M	1	Vultur cadens	3 3 21	10 46	S	1
α CMi	Procyon (*)	Canis minor	65 16 38	6 5	M	1	Aquila	3 10 6	7 10	S	2
α Leo	Régulus	Cor Leonis	12 22 28	14 19	S	1					
α Hya	Alphard	Lucilla hydre	52 13 10	4 11	M	2					
δ Leo	Zosma	Elonum Leonis	17 9 47	11 31	S	2					

FIGURE 45 – La table d'étoiles avec les noms équivalents modernes, la médiation, la déclinaison (s = septentrional ; m = méridional, * = erreur de signe) et la magnitude.

Livre III; Proposition 7

Il nous dit qu'il faut ajouter, à l'arrière de son instrument un « Instrumentum Horarum », c'est-à-dire un cadran ancien (fig. 33(a) page 82). Nous verrons que cela a une importance majeure pour la fonction gnomonique du quadrant.

Livre IV; Proposition 1

C'est en fait une introduction à la partie « Usages » du quadrant de Fine. Il précise que pour l'utiliser son instrument, il faut être capable de déterminer le « vrai lieu du Soleil » et le mouvement des étoiles errantes (planètes). Il nous dit que cela est enseigné ailleurs et de nombreuses façons mais « si Dieu concède de plus heureuses conditions de vie, et que le Roi ne manque pas de libéralités envers nous, je pense donner aux étudiants des choses mathématiques un moyen beaucoup plus certain et digne de confiance ». Manifestement Dieu, ou le Roi, en ont décidé autrement, car rien, dans l'œuvre ultérieure de Fine, ne correspond à cette déclaration. En tout cas, il est manifeste qu'il réserve ce qui va suivre à des spécialistes. C'est la première fois dans cette étude que nous constatons, dans les propos de l'auteur, cette volonté de restreindre l'audience de son discours.

Livre IV; Propositions 2 à 21

Ces 21 propositions sont les suivantes (traduction de M. A. Pédaillé) :

2. Comment on peut connaître à toute heure du jour artificiel la hauteur du Soleil, & séparer le matin de l'après-midi.
3. Comment on peut trouver la hauteur des étoiles, qui apparaissent la nuit au-dessus de l'horizon.

33. On s'attendrait à Deneb, Fomalhaut et une étoile de Pégase (probablement Enif).

4. Comment on calcule la déclinaison du Soleil, & en général tout degré de l'Écliptique que l'on veut, et de même pour toutes les étoiles figurant sur le quadrant, qu'ils font à partir de l'Équinoxial.
5. Comment sans les rayons du Soleil on trouve la hauteur méridienne du Soleil.
6. Comment on peut trouver la plus grande hauteur, c'est-à-dire la hauteur Méridienne des Etoiles fixes de manière correspondante.
7. Comment en connaissant la déclinaison du Soleil, ou de l'Etoile, tu peux trouver le lieu du Soleil dans l'Écliptique, ou la position de l'Etoile que tu t'es proposé.
8. Comment on trouve le degré de l'Écliptique, avec lequel toute Etoile que tu veux figurant sur le Quadrant arrive au milieu du Ciel.
9. Comment avec ledit Quadrant on peut trouver la latitude, ou élévation de quelque lieu que tu veux, ou pôle Boréal, & son propre Horizon.
10. Comment on peut trouver le lever, & le coucher du Soleil, & son arc du jour, & de la nuit, ou la quantité du jour & de la nuit artificiels.
11. Comment on trouve de jour l'heure inégale.
12. Comment on peut trouver la quantité de l'heure inégale du jour comme de la nuit artificiels, et convertir l'heure inégale en heure égale, & aussi le contraire, & en les ayant fait apparaître à partir du demi-jour ou de la demi-nuit, et les convertir à l'heure à laquelle elles commencent à partir du lever ou du coucher du Soleil, & réduites à l'italienne en 24 heures.
13. Comment on peut trouver la diversité des plus grands jours, & des plus grandes nuits artificielles, selon les diverses attitudes des lieux.
14. Comment on connaît les Etoiles qui se lèvent, & celles qui se couchent.
15. Comment on connaît les Etoiles qui naissent, & qui se couchent ; & l'arc diurne, & nocturne.
16. Comment on trouve l'ascension de n'importe quel degré que l'on veut de l'Écliptique, ou d'une Etoile située sur la Sphère droite, en commençant par les premiers degrés du Bélier.
17. Comment dans la Sphère oblique on peut trouver les choses dites dans le chapitre précédent.
18. Comment on peut trouver l'Ascension de n'importe quel Signe, ou arc de l'Écliptique sur la Sphère droite, ou oblique.
19. Comment sur un lieu de la Sphère, & de l'autre on peut trouver le degré de l'Écliptique, avec lequel se lève, ou se couche l'Etoile.
20. Comment à toute heure on peut trouver le degré ascendant de l'Écliptique, & les autres points cardinaux du Ciel.
21. Comment avec ledit Quadrant on peut trouver les longueurs des choses, avec l'échelle altimétrique dessinée sur la partie du dos.

Comme on le constate, l'ambition de Fine est de proposer un outil de calcul astronomique qui intègre du calcul à tendance astrologique (prop.18, 19 et 20) ou même de topographie (prop. 21). On est loin d'un instrument simplement gnomonique. Seules deux propositions (11 et 12) concernent ce domaine. Mais quand on consulte ces propositions, on est déçu, car il s'agit seulement de renvois à la proposition qui concerne le *quadrant vetus* pour les heures inégales (Livre II, prop. 8) et au Livre IV, prop. 3 de sa *Cosmographie* incluse dans le *Protomathesis*, pour la transformation des heures inégales en heures égales.

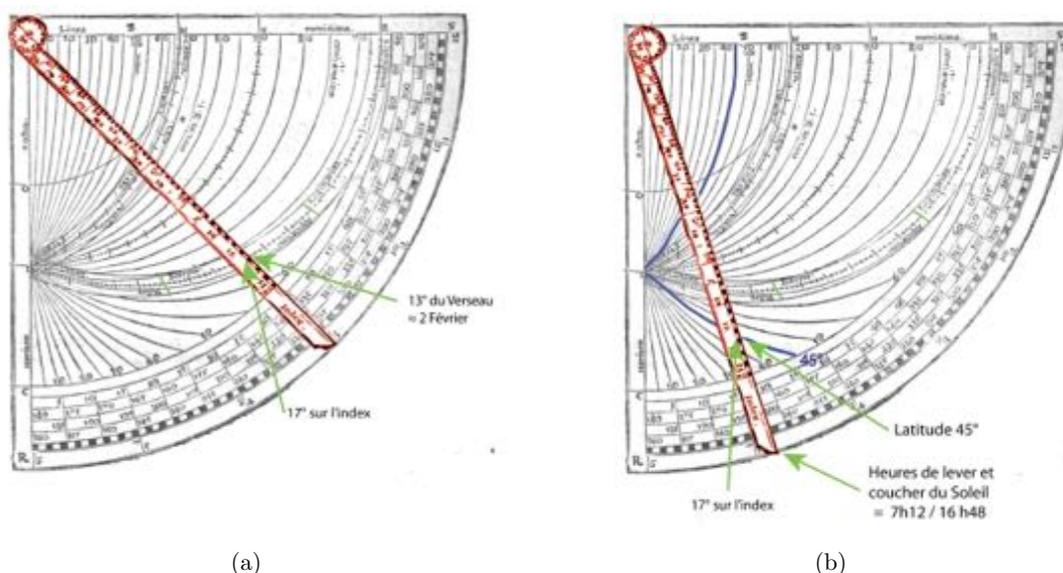


FIGURE 46 – Illustration de la procédure utilisée pour déterminer la durée, en heures égales, de l’après-midi dans l’exemple présenté dans le texte..

Si la lecture des heures inégales ne pose pas de problème, car il y a un cadran *vetus* à l’arrière de l’instrument, le calcul des heures égales nécessite de connaître la durée du jour clair. Pour cela il faut se référer à la proposition 10. Mais cela Fine ne l’indique pas dans sa proposition 12. . . encore une fois, il s’adresse maintenant à des spécialistes.

Détaillons l’ensemble de la procédure sur un exemple : supposons que nous nous situions à 45° de latitude nord, que nous soyons le 2 Février dans l’après-midi et que la lecture du *quadrant vetus* situé au dos de l’instrument de Fine, nous indique que nous sommes à 4 h inégales (c’est-à-dire au début de la cinquième heure de l’après-midi). Quelle est l’heure égale ? Nous allons utiliser la face de l’instrument pour déterminer la durée de la moitié du jour clair à ce moment-là (fig. 46). Pour cela nous mettons l’index sur le degré du zodiaque correspondant (environ 13° du Verseau) et nous lisons sur l’index la graduation à l’intersection de l’écliptique (ici 17°). Puis nous positionnons l’index de façon à ce que ces 17° se superpose à la latitude (45°), et nous lisons alors sur le lymbe l’heure de coucher du Soleil : 16 h 48 en heures égales. La durée de l’après-midi est donc de 4 h 48 égales correspondant à 6 h 00 inégales. On pose donc (x étant l’heure égale recherchée) :

$$\frac{x}{4 \text{ h } 48} = \frac{4 \text{ h } 00}{6 \text{ h } 00}$$

d’où l’on tire $x = 3 \text{ h } 12 \text{ égales}$ ³⁴. On constate que le quadrant d’Oronce Fine ne sert ici que d’ordinateur analogique pour une partie de la procédure, sans qu’il soit impliqué dans une quelconque lecture. . . peut-on parler alors d’instrument gnomonique ?

Par ailleurs, la procédure décrite ici est la stricte homologue de celle que l’on ferait sur un astrolabe planisphérique muni d’un tympan des horizons (fig. 44 page 91). Il est évident que Fine connaît bien les usages de l’astrolabe planisphérique.

34. Ce n’est évidemment pas de façon aussi directe que Fine explique le calcul.

9 Discussion et Conclusion provisoires sur les livres III et IV

Ces deux Livres, nous démontrent que Fine maîtrise parfaitement la théorie de l'astrolabe planisphérique. La construction de son quadrant et beaucoup de ses usages, évoque cet astrolabe. Si Fine, n'en parle pas dans son œuvre écrite, c'est un choix. Peut-être jugeait-il qu'il n'avait rien de nouveau à dire sur ce sujet, et qu'il a préféré s'intéresser à des instruments peu et mal documentés, ou inventés par lui³⁵ ?

Tout l'exposé sur ce quadrant s'oppose aux 2 premiers Livres, dans le style et dans les objectifs. Alors que précédemment il faisait preuve de pédagogie et qu'il accompagnait son lecteur dans tous les détails de la fabrication de l'instrument (jusqu'à souvent en dire plus que nécessaire), ici, il s'adresse aux spécialistes, limite ses explications, et parsème son discours de phrases signifiant que le lecteur devrait déjà savoir ce qu'il ne prend pas la peine d'expliquer, car il l'a déjà expliqué précédemment.

Le quadrant qu'il nous décrit n'apparaît que très marginalement comme un instrument gnomonique. En fait il s'agit d'un ordinateur analogique, universel, mais inspiré de l'astrolabe planisphérique (ce qui en soit est un exploit car celui-ci n'est pas universel). En fait, il assez proche du *quadrant novus*, mais vu le nombre d'instruments présents dans les collections de Musées, et les allusions dans les traités ultérieurs, on doit bien conclure qu'il a eu encore moins de succès (fig. 47).



Figure 47 – Un des rares quadrants de type « Oronce Fine » connu, réalisé par Jeremias Arsenius en 1573, MCUL 1162, Musée de l'Université de Lisbonne.

10 Conclusion générale, la gnomonique d'Oronce Fine

L'œuvre mathématique d'Oronce Fine a été attaquée depuis longtemps sur un certain nombre de points. La partie gnomonique de cette œuvre n'échappe pas à cette mauvaise réputation, et les historiens actuels (comme [Eagleton, 2009]) signalent des critiques plus ou moins virulentes, dans Nunes [1546], Clavius [1581] ou Kircher [1646], auteurs suffisamment notables pour que cela pose question. Inversement, Oronce Fine a eu une influence indiscutable,

35. Hillard & Poulle [1971, p. 322] signalent la découverte d'un manuscrit de traité sur l'astrolabe de Fine, incomplet, daté de 1551, et apparemment prêt pour l'impression ; mais ce livre n'a jamais été publié.

et énorme, sur les gnomonistes ultérieurs. Munster [1534], Bullant [1561] sont, au moins en partie directement recopiés de l'œuvre de Fine. On peut également évoquer Clavius [1581] et Kircher [1646] qui le citent dans leurs sources, et Sainte-Marie-Magdeleine [1657] qui a recopié au moins une de ses figures.

Ce tableau est donc assez paradoxal. Le but de cette présente étude était donc d'essayer d'y voir plus clair, en évaluant scientifiquement les critiques anciennes, et en apportant un regard contemporain sur la gnomonique d'Oronce Fine.

En ce qui concerne les critiques anciennes signalées, notamment par Eagleton [2009] :

- Nunes [1546], critique les propositions 1, 2, 3 et 18 du Livre I, cela lui suffit pour condamner tout l'ouvrage (« ... donc toutes les horloges qui sont faites selon les règles d'Oronce sont fausses. Il n'est pas opportun maintenant d'examiner ce que Oronce expose au sujet des (autres) horloges ... »). Si l'erreur de Fine dans la proposition 18 est réelle, l'autre erreur mérite un examen plus approfondi. Notamment, car celle-ci n'est probablement pas de nature scientifique, et que dès la proposition suivante (prop. 4) on trouve la bonne méthode, celle que Nunes lui-même propose dans son livre ! Il est clair que ce dernier n'est pas de bonne foi. Leitão [2009] a expliqué les motivations profondes et l'intérêt qu'avait Nunes de « descendre » Fine, personnage célèbre de son époque.
- Clavius [1581] cite Fine comme source de son explication du cadran de Regiomontanus, à cette occasion, il met en cause une des méthodes pour tracer le zodiaque latéral. Nous avons vu que cette critique était à relativiser.
- Kircher [1646] signale une cause d'imprécision dans le tracé de la Navicula de Fine. Mais il ne s'agit pas d'une critique, mais simplement d'une illustration du caractère approximatif de ce tracé, caractère qui est connu est assumé par Fine. Clairement, on ne peut pas parler d'erreur.

Ces remarques ne visent pas à dédouaner complètement Fine, car, nous l'avons vu, son œuvre gnomonique contient d'autres erreurs, mais elles n'apparaissent pas comme des erreurs scientifiques. On peut, en effet, le soupçonner d'avoir écrit sur des instruments qu'il n'avait jamais eu en main (certains anneaux, le cadran de berger ...), ce qui le conduit à proposer des solutions pratiques qui sont soit fausses, soit peu réalistes. En dehors de ces rares cas, et d'une manière générale, le contenu scientifique est excellent ... bien loin de l'image qu'en donne certains auteurs. La seule faiblesse scientifique notable me semble être le fait qu'il n'évoque pas la construction des arcs de déclinaison pour les cadrans plans, alors qu'il possède les outils théoriques pour le faire. Manifestement il n'est pas intéressé par ce développement scientifique. De la même façon il ne parle pas de l'astrolabe planisphérique, alors qu'il en maîtrise toutes les subtilités, comme le démontre son exposé sur le quadrant qu'il propose³⁶.

Par ailleurs : Fine fait preuve de beaucoup pédagogie, il accompagne le lecteur dans la réalisation des instruments qu'il décrit et accompagne de dessins qui conservent souvent les lignes de tracé. Très logiquement, son ouvrage a beaucoup été copiée (Munster, Bullant...), alors que lui ne semble pas avoir été influencé par les ouvrages imprimés antérieurs.

L'œuvre gnomonique d'Oronce Fine apparaît donc comme un travail original majeur, on peut même dire fondateur, de la gnomonique européenne naissante au milieu du XVI^e siècle. Elle a constitué pour de nombreuses générations de gnomonistes, une source sûre et d'excellente tenue scientifique. Les critiques que l'on trouve dans la bibliographie ancienne et moderne sont très largement exagérées, voire fausses.

36. Voir note n° 18 page 74.

Références

- [1] Archinard M. (2006) : « The diagram of unequal hours », *Annals of Science*, 47, p. 173–190
- [2] Bion N. (1709) : *Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique : avec les figures nécessaires pour l'intelligence de ce traité*, Paris.
- [3] Bion N. (1752) : *Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique : avec les figures nécessaires pour l'intelligence de ce traité*, 5^e édition, Paris.
- [4] Cowham M. (2008) : *Altitude dials*, BSS Monograph n° 4, 64 p.
- [5] De Vries F. (1999) : « A « universal » capucin dial (or the sailing wooden shoe) » ; *The Compendium*, Vol. 6, n° 1, p. 4–8.
- [6] Drinkwater P. (1993b) : voir première partie.
- [7] Eagleton C. (2009) : voir première partie.
- [8] Dutarte Ph. (2006) : *Les instruments de l'astronomie ancienne de l'antiquité à la renaissance*; Vuibert, 294 p.
- [9] Grandin M. (1723) : *Récréations mathématiques et physiques, qui contiennent les problèmes et les questions les plus remarquables. . .*, Paris (Ouvrage signé par J. Ozaman (1640-1718) mais enrichi par Grandin).
- [10] Gunella A. (2005) : « Le traçage des lignes de déclinaison et les idées de Clavius ». *Le Gnomoniste*; XII-4; p. 6–10.
- [11] Haugel V. (2004) : *Tournent, tournent les volvelles*; in : *Instruments scientifiques à travers l'Histoire*; Ellipses, p. 131–159.
- [12] Hillard D. & Poulle E. (1971) : voir première partie.
- [13] King D. (2002) : « A Vetustissimus Arabic treatise on the Quadrans vetus », *Journal for the History of Astronomy*, xxxiii, p. 237–255
- [14] King D.A. (2014) : *In synchrony with the heavens*, volume 2, Brill éd., 1066 p.
- [15] Kragten J. (1997) : *The little ship of Venice*, éd. compte d'auteur, 45 p.
- [16] Leitão H. (2009) : voir première partie.
- [17] Massé Y. (2009) : *De l'analemme aux cadrans de hauteur*, éd. compte d'auteur. 93 p.
- [18] Massé Y. (2009) : « La navicula de Venetiis », *Cadran-Info*, n° 28, p. 114–120.
- [19] Mercier E. (2016) : « Les heures de prières sur les quadrants astrolabiques maghrébo-andalous » ; *Cadran-Info*, n° 33, p. 122–130.
- [20] Mercier E. (2020) : « La gnomonique d'Oronce Fine (1494–1555) Le Livre I de la partie gnomonique du Protomathesis (1532) » ; *Cadran-Info*, n° 41, p. 81–105.
- [21] Michel H. (1976) : *Traité de l'astrolabe*; Alain Brioux éd., 202 p.

- [22] Montucla J.E. (1778) : *Récréations mathématiques et physiques, qui contiennent les problèmes et les questions les plus remarquables...*, Paris (Ouvrage signé par J. Ozaman (1640–*1718) mais profondément remanié par Montucla).
- [23] Sainte-Marie-Magdeleine P. (1657) : *Traité d'horlogiographie, contenant plusieurs manières de construire, sur toutes surfaces, toutes sortes de lignes horaires...*, Paris, 1657.
- [24] Savoie D. (2012) : « Pourquoi "cadran de berger" » ? *Cadran Info*, n° 25, Mai 2012, p. 79–81
- [25] Savoie D. (2014) : « Quadrans vetus : cadran portable médiéval », *Cadran Info*, n° 30, p. 93–96.
- [26] Savoie D. (2020) : « Cadran solaire portable à double limbe », *Cadran Info*, n° 41, 158–165.
- [27] Poulle E. (1972) : « Les instruments astronomiques de l'Occident latin au XI et XII^e siècles » ; *Cahiers de la civilisation médiévale*, 57, p. 27–40.
- [28] Poulle E. (1983) : « Les instruments astronomiques du moyen-Age », *Astrolabica*, n° 3, 44 p.
- [29] Zinner (1979) : *Deutsche und Netherlandische Astronomische Instrumente des 11. -18. Jahrhunderts*, Munich.

Références des livres anciens cités : Regiomontanus J. (1474) : *Kalendarium* (nombreuses rééditions).

Pour les autres livres anciens : voir la première partie.

