
La précision de la *Navicula de Venetiis* par Yvon Massé

Les auteurs modernes de gnomonique ont généralisé l'idée que l'instrument du Moyen-Âge appelé *Navicula de Venetiis*¹ était une approximation du cadran de Regiomontanus et, par suite, que la *Navicula* ne pouvait pas fournir d'indications horaires dignes d'intérêt. Les éléments apportés dans cet article montrent qu'à l'évidence cette idée reçue mérite d'être reconsidérée.



Figure 1 – *Navicula de Venetiis* du musée Galileo à Florence. C'est la seule *Navicula* qui nous soit parvenue dont le tracé est parfaitement conforme aux procédures du Moyen-Âge.

1 Histoire d'une malédiction²

À la fin du Moyen-Âge, il semble qu'une malédiction se soit abattue sur la *Navicula de Venetiis* quand, une bonne cinquantaine d'années après son invention, le mathématicien et astronome Regiomontanus eut l'idée d'utiliser l'imprimerie, technique alors toute récente qui décupla la diffusion du savoir, pour publier un almanach [1] à la fin duquel il proposa un « carré horaire général ».

À partir de cet instant, tout se passa comme si on avait décidé que de ces deux cadrans il y en avait un de trop. Comment comprendre en effet que, sous des apparences similaires, on

1. Dans cet article, il ne sera considéré que le cadran à heures égales qui occupe une des faces de la *Navicula de Venetiis* [1], l'autre face est occupée par un cadran ancien et un carré des ombres.

2. L'exposé des faits est ici volontairement schématisé. Pour un historique plus détaillé, voir la compilation de C. Eagleton [8], ouvrage de référence sur les *Naviculas*.

ait dans un cas le point de suspension du fil qui se déplace suivant un arc de cercle tandis qu'il se déplace selon une ligne droite dans l'autre cas. Si le carré horaire de Regiomontanus conduit à une détermination exacte des heures égales alors la *Navicula* ne peut être qu'une sombre approximation ou, au mieux, les premiers balbutiements d'un instrument qui a fini par trouver sa forme définitive et parfaite. Alors, à quoi bon s'intéresser à la *Navicula* ? Il semble en effet qu'on ait rapidement oublié les ingénieux compromis qui avaient alors été inventés.

Un autre évènement d'importance eut toutefois lieu à la Renaissance quand Oronce Fine, sans doute touché par la grâce de la *Navicula* — qui, reconnaissons-le, ne manque pas de charme — décida d'en fabriquer une pour en faire un cadeau royal sans se soucier des réelles proportions de l'original. De surcroît, il publia la description de son instrument et donna sa propre conception de son utilisation, très différente de la *Navicula* d'origine, dans un prestigieux cours de mathématiques [2] dont la partie gnomonique fut réimprimée par un de ses enfants [3]. À la malédiction s'ajouta alors la confusion la plus totale.

En effet, les gnomonistes qui suivirent remarquèrent que la *Navicula* d'Oronce Fine manquait sérieusement de précision et ils apportèrent des ajustements pour tirer le meilleur parti d'un instrument qui, rappelons-le, avait fait l'objet d'un présent royal. On retrouve notamment dans le *Traité d'horlogiographie* de J. Bullant [4] la description d'une horloge solaire universelle directement inspirée de la *Navicula* avec une adaptation au niveau du zodiaque latéral qui permet de gagner en précision aux époques des équinoxes.

Les choses en restèrent là quand, vers la fin du XX^e siècle J. Kragten, hollandais, eut la curieuse idée de calculer l'erreur produite par la *Navicula* [6] en partant d'un manuscrit médiéval³ datant de l'époque de son invention. Le manuscrit fournissait un mode opératoire pour fabriquer et utiliser la *Navicula* : toutes les données nécessaires à ses calculs étaient donc rassemblées. Il eut alors la grande surprise de constater que cette erreur n'était pas significative, en tout cas très inférieure à l'erreur de lecture d'un cadran de poche, fut-il basé sur un principe parfaitement exact.

On aurait pu croire que la malédiction était alors rompue, mais c'était sans compter le lourd poids des idées reçues, alimentées de plus par un ensemble d'écrits spécialisés de notre époque moderne ressassant les mêmes propos : la *Navicula* est l'ancêtre du cadran de Regiomontanus, celui-ci lui a donné sa forme définitive et mathématiquement exacte.

Récemment M. J.-M. Rétif a souhaité diffuser au sein de notre commission une petite monographie qu'il avait rédigée concernant les cadrans d'Apian, de Regiomontanus et du capucin [11]. Dans cette étude l'auteur a utilisé une méthode graphique originale qui consiste à superposer sur le tracé du cadran, pour chaque heure vraie, le parcours de la perle au fil des jours, du solstice d'hiver au solstice d'été. Ainsi, si les parcours se confondent avec les lignes horaires, on peut, d'un simple coup d'œil, confirmer immédiatement la justesse du cadran.

C'est au cœur de cette étude que la malédiction frappa de nouveau. Par un souci d'exhaustivité, l'auteur souhaita donner quelques éléments concernant la *Navicula de Venetiis*. Il utilisa alors un formulaire simplifié, que j'avais proposé dans un précédent article [10] pour décrire la géométrie des *Naviculas* médiévales, et il proposa une méthode graphique correspondante et originale. Mais dans la procédure d'utilisation, quand il fallut choisir la façon de régler la perle, déconcerté par les différentes méthodes proposées — celle du Moyen-Âge, d'Oronce Fine et de ses successeurs — l'auteur en choisit une qui lui semblait logique et, en quelque sorte, valida son choix en constatant que le résultat n'était pas précis, conformément à ce que nos écrits modernes s'accordent à souligner.

3. Plus exactement la reproduction de ce manuscrit présentée dans un article de D. de Solla Price [5].

Si M. Rétif avait été convaincu qu'il devait obtenir une erreur faible, il aurait essayé avec un autre réglage de la perle pour finalement retenir celui qui est décrit dans tous les manuscrits médiévaux⁴ : quand le fil est tendu par-dessus l'arc du zodiaque latéral et passe juste sur la position du Soleil au jour de l'observation, la perle doit être placée *exactement sur la ligne de midi*.

Afin d'apprécier à sa juste valeur la précision des différents types de *Navicula*, reprenons-les chronologiquement en utilisant la méthode que M. Rétif a imaginée pour valider le fonctionnement des cadrans de hauteur. Sur les graphiques obtenus et présentés ci-dessous seront tracés :

- En noir les graduations horaires de la *Navicula* ;
- En rouge les différentes positions de la perle au cours de l'année pour toutes les heures vraies entières.

2 À partir des manuscrits médiévaux

La graduation du mât pour la latitude φ est donnée par la relation :

$$y = R \tan \varphi \quad (\text{voir fig. 2}) \quad (1)$$

Le zodiaque inférieur pour l'inclinaison du mât et le zodiaque latéral pour le réglage de la perle sont gradués suivant deux méthodes graphiques différentes que l'on peut voir décrites sur le manuscrit fig. 3. La façon de régler la perle est rappelée plus haut. Aux solstices, quand le mât est incliné au maximum, on peut montrer à partir de l'équation (1) que le point de suspension du fil est à la même place que pour le cadran de Regiomontanus.

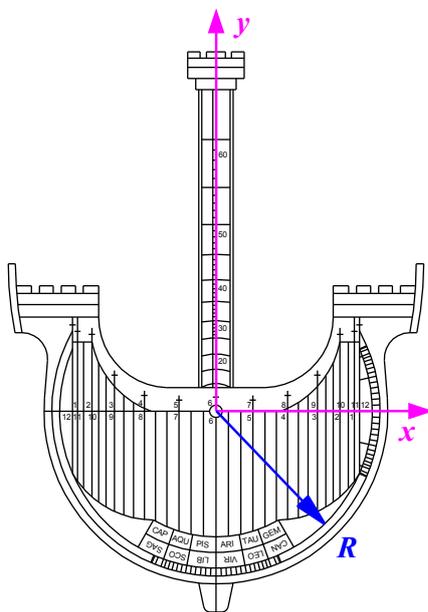


Figure 2

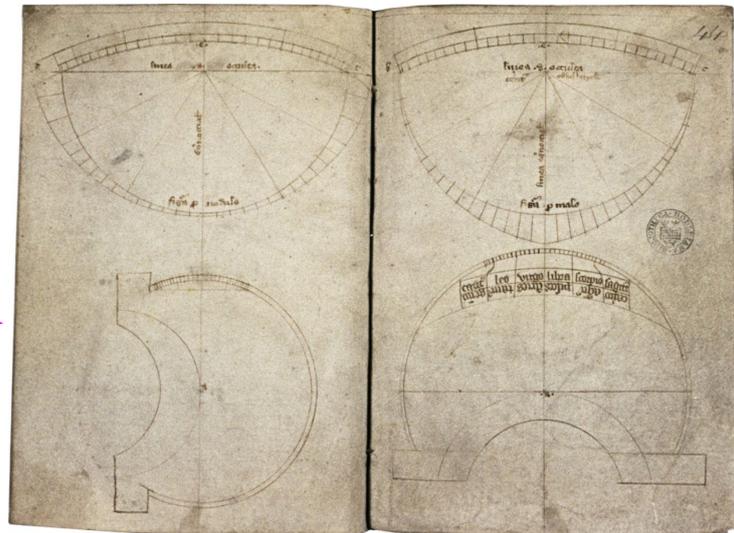


Figure 3 – Manuscrit Bodley 68, ff. 043v-044r.

4. On peut consulter à ce sujet la compilation de C. Eagleton [8] qui présente plusieurs manuscrits médiévaux avec leur traduction en anglais moderne.

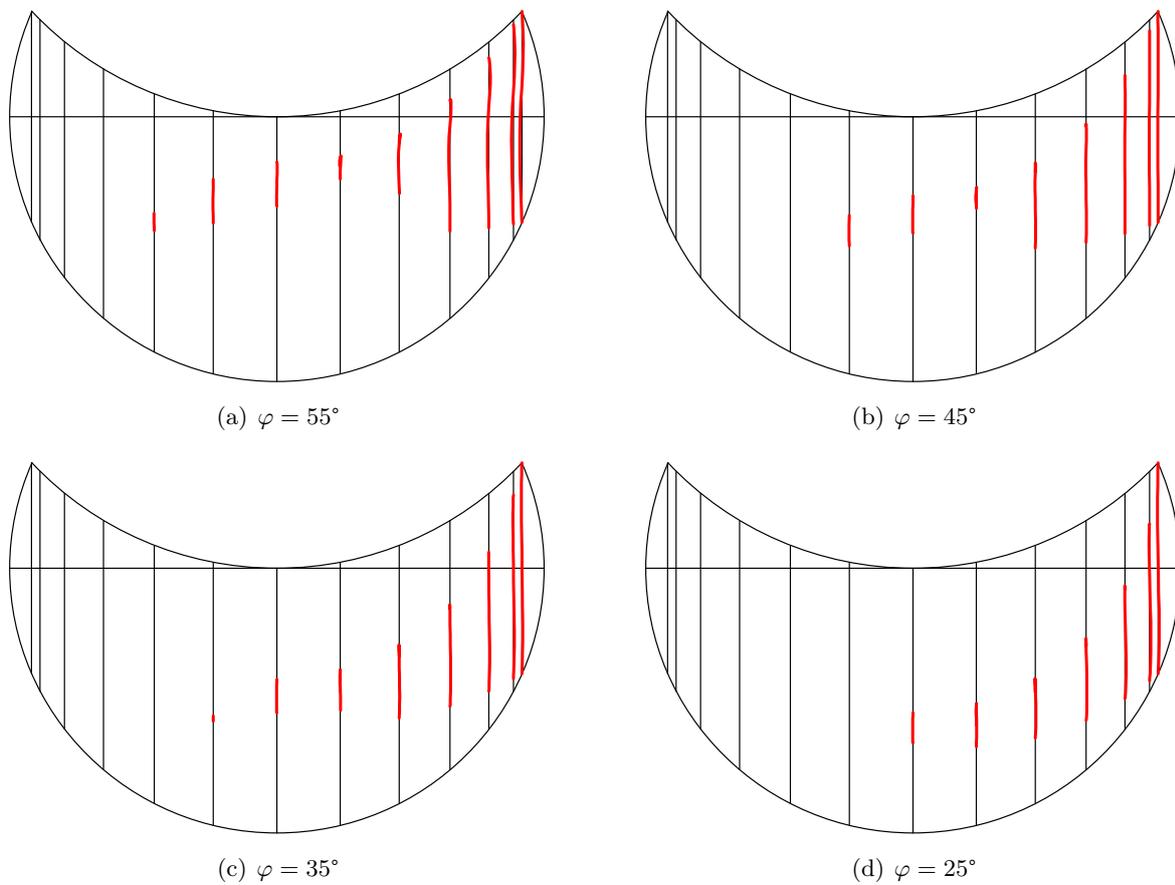


Figure 4 – Position de la perle pour la *Navicula* médiévale.

Il faut toutefois remarquer que la procédure graphique médiévale utilisait une déclinaison maximale pour le tracé des zodiaques de 24° alors qu'à cette époque l'obliquité effective ϵ était d'environ 23.5° . Cette différence introduisait une erreur supplémentaire que l'on peut apprécier sur la fig. 5.

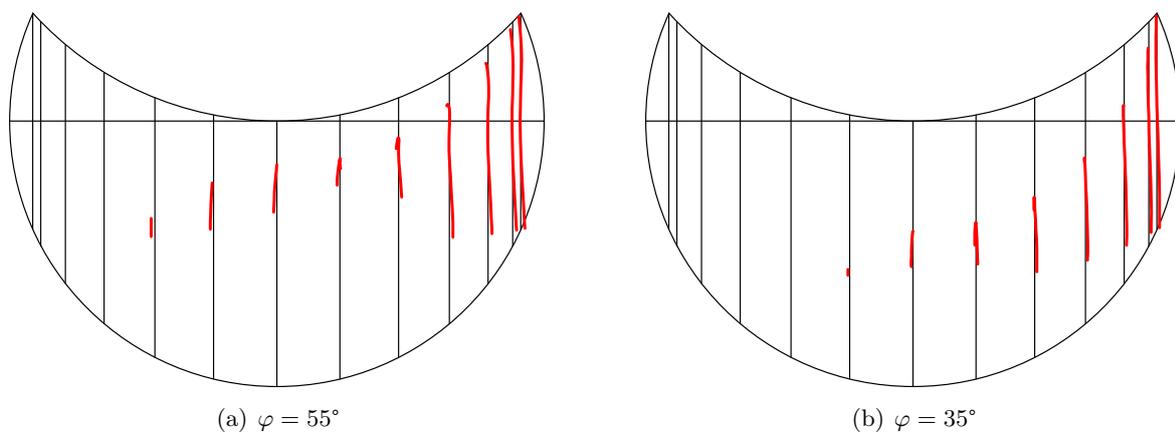


Figure 5 – Position de la perle avec un tracé basé sur une déclinaison maxi de 24° .

3 Suivant les écrits d’Oronce Fine⁵

Le mât est plus court du facteur $\cos \epsilon$ par rapport à la *Navicula* médiévale. Aux équinoxes, quand le mât est vertical, le point de suspension du fil est ainsi situé à la même place que pour le cadran de Regiomontanus. Les deux zodiaques sont identiques et gradués suivant la déclinaison du Soleil. La perle se règle sur le zodiaque latéral qui est situé sur un arc de cercle.

L'imprécision est plus grande pour les faibles latitudes.

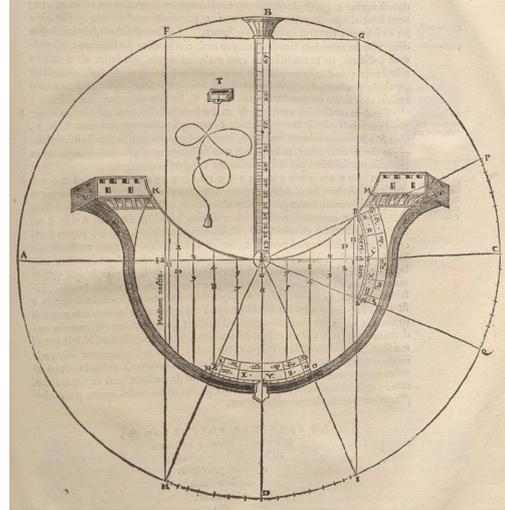


Figure 6

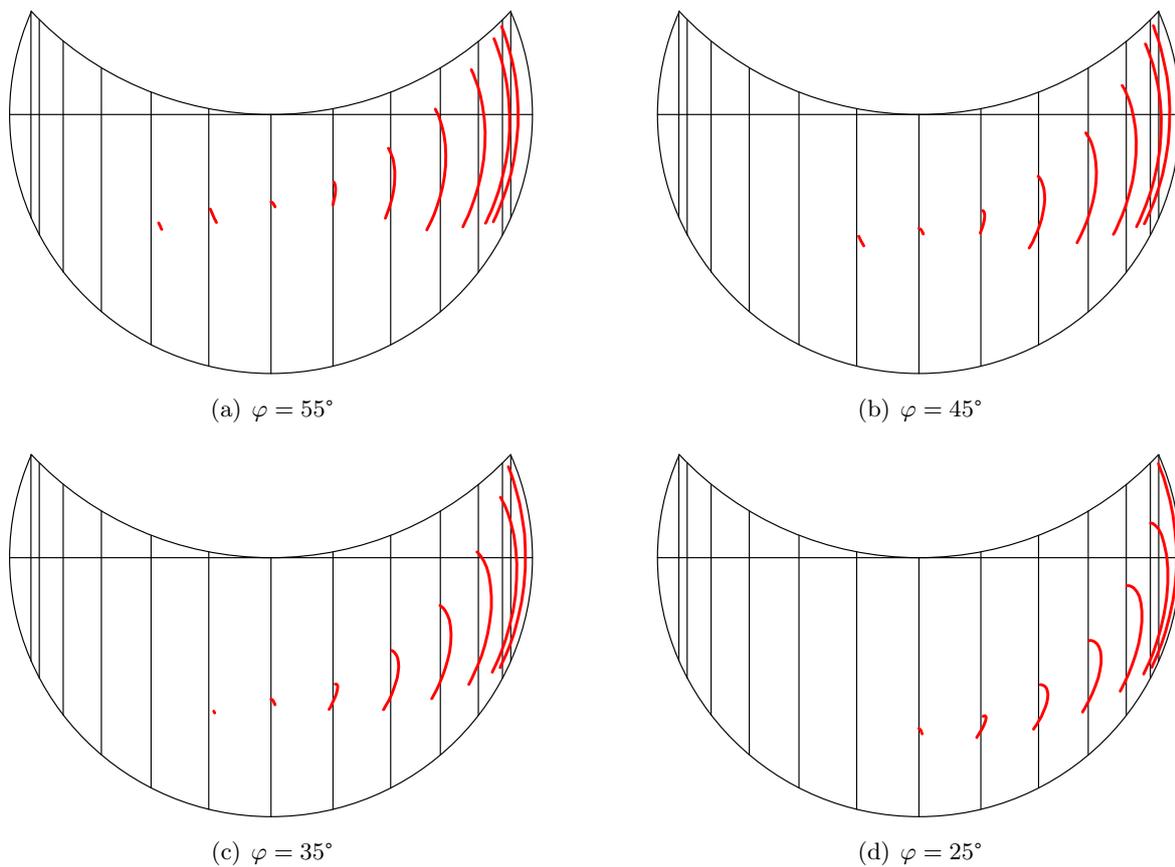


Figure 7 – Position de la perle pour la *Navicula* d’O. Fine.

5. Pour une approche trigonométrique de cette configuration voir l'article de M. Archinard [7].

4 Suivant le traité de Jean Bullant

La différence avec la géométrie d'O. Fine se situe uniquement au niveau du zodiaque latéral qui est déplacé sur la ligne de midi. La perle se règle sur ce nouveau zodiaque.

L'erreur est nulle aux équinoxes (on est dans la configuration du cadran de Regiomontanus) mais on retrouve celle de la configuration d'O. Fine aux solstices. La précision est cette fois-ci meilleure quand l'instrument est utilisé pour de faibles latitudes.

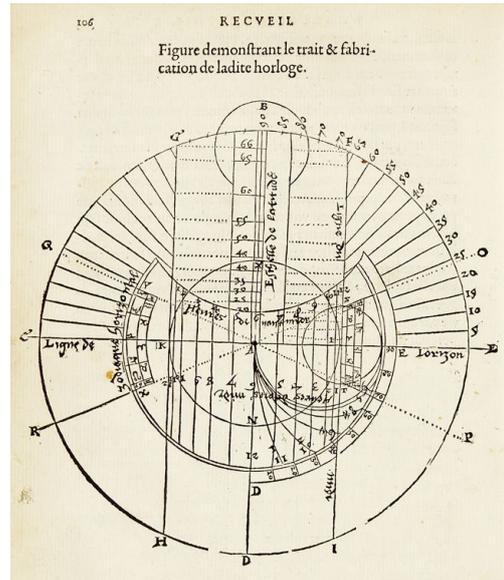
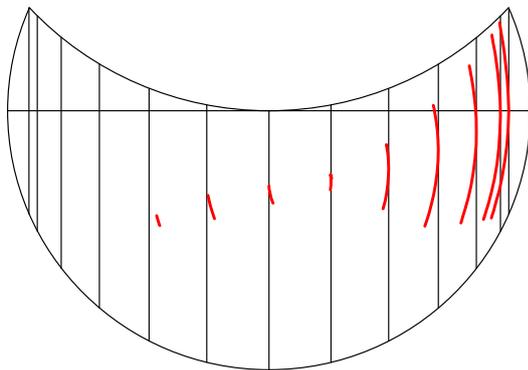
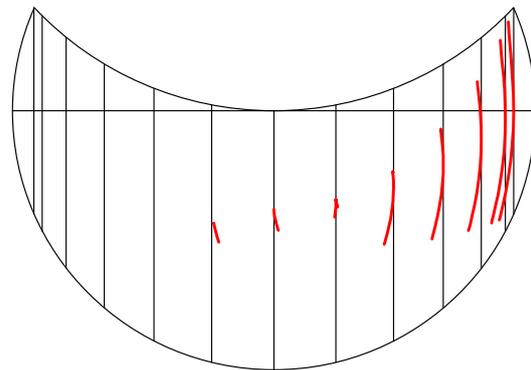


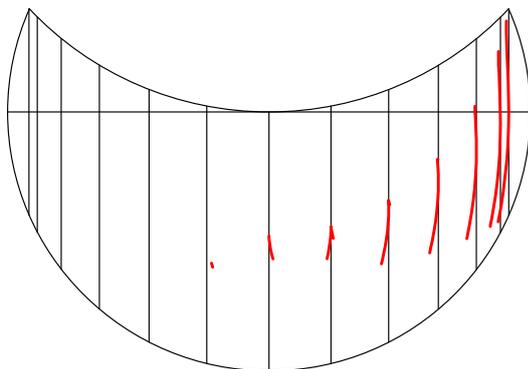
Figure 8



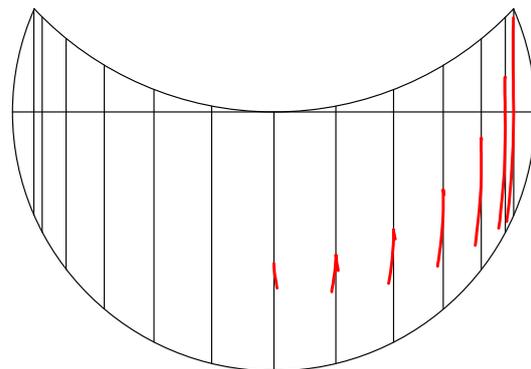
(a) $\varphi = 55^\circ$



(b) $\varphi = 45^\circ$



(c) $\varphi = 35^\circ$



(d) $\varphi = 25^\circ$

Figure 9 – Position de la perle pour la *Navicula* de Bullant.

5 En utilisant une procédure simplifiée

Le compromis du Moyen-Âge conduit, nous l'avons vu, à une précision parfaitement suffisante au prix d'une méthode assez complexe pour la graduation des zodiaques. C'est en essayant de comprendre sur quelles bases reposaient ce compromis [9] que j'ai constaté qu'il existait un angle α_m pour l'inclinaison du mât qui permet de placer le point de suspension de la perle à la bonne distance x suivant la géométrie du cadran de Regiomontanus (la position y n'intervient pas car elle correspond à un déplacement dans la direction des lignes horaires). C'est-à-dire, pour la déclinaison δ du Soleil :

$$x = R \tan \varphi \sin \alpha_m = R \cos \epsilon \tan \varphi \tan \delta \quad (2)$$

$$\sin \alpha_m = \cos \epsilon \tan \delta \quad (3)$$

Cette relation est valable pour toutes les latitudes φ et permet de définir facilement la graduation inférieure pour le réglage du mât. À partir de cette formule M. Rétif proposa la méthode graphique fig. 10(a) qui illustre bien le resserrement des graduations sur l'équinoxe propre à la procédure médiévale.

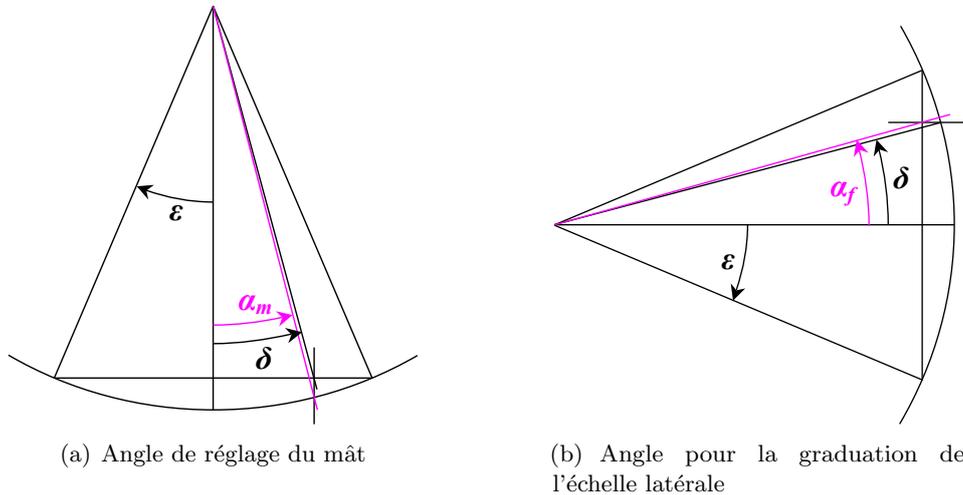


Figure 10 – Méthode graphique simplifiée.

Il reste alors, pour pouvoir réaliser entièrement la *Navicula*, à définir comment tracer les graduations latérales qui doivent, elles, s'écarter par rapport à l'équinoxe. La figure 10(b) vient alors naturellement et avec elle la formule associée :

$$\tan \alpha_f = \frac{\sin \delta}{\cos \epsilon} \quad (4)$$

L'utilisation de ces formules, ou des méthodes graphiques correspondantes, associées au mode d'emploi du Moyen-Âge (positionnement de la perle sur la ligne de midi) conduit aux résultats ci-dessous qui sont quasiment identiques à ceux de la *Navicula* médiévale.

Remarquons que cette configuration, comme celle du Moyen-Âge, est rigoureusement exacte aux solstices — on retrouve la géométrie du cadran de Regiomontanus — mais aussi aux équinoxes. En effet, le réglage spécifique de la perle fait que sa distance au point de suspension se retrouve, ici encore, conforme à celle du cadran de Regiomontanus. Le déplacement du point de suspension, nous l'avons vu, est sans conséquence car il se fait dans la direction des lignes horaires.

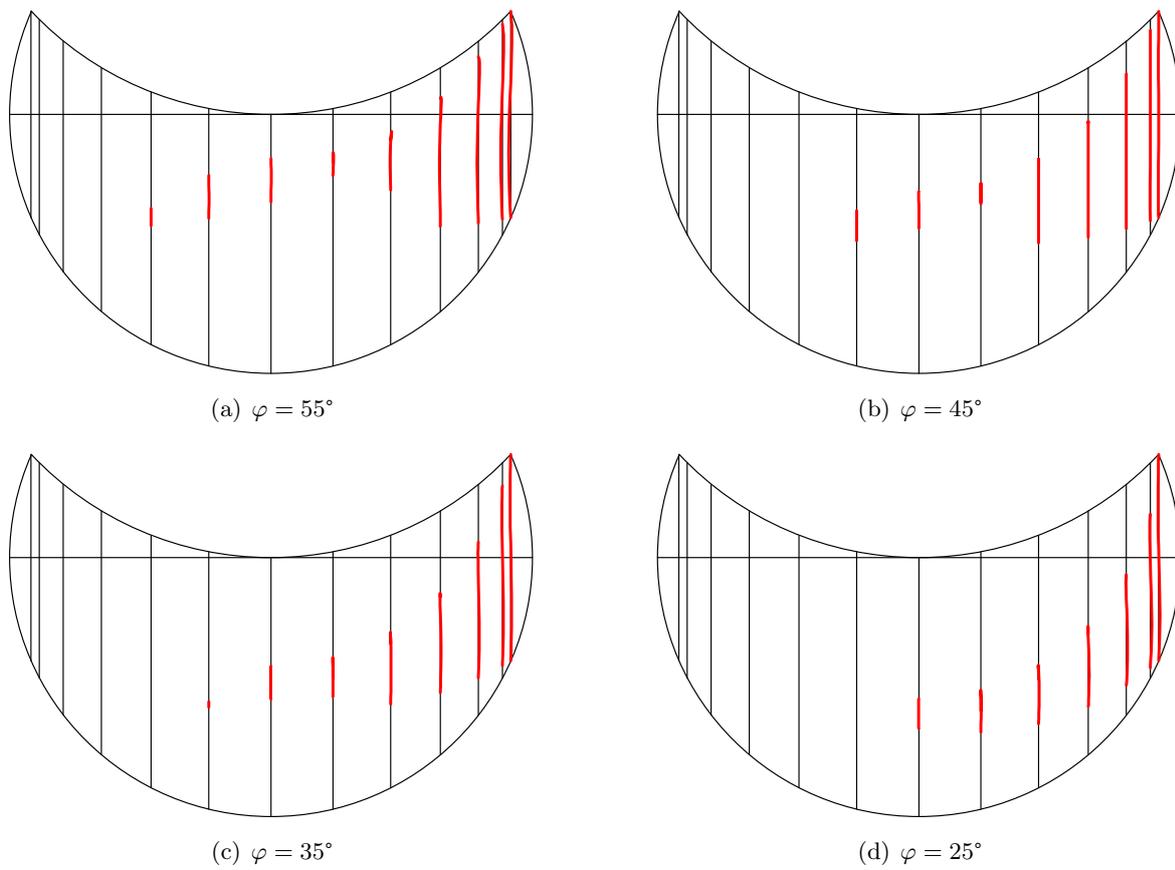


Figure 11 – Position de la perle avec la procédure simplifiée.

6 Conclusion

J'espère sincèrement que cet article permettra de mieux comprendre les particularités des différentes *Naviculas* et qu'il donnera suffisamment d'éléments pour ne pas les confondre. J'espère enfin qu'il encouragera les amateurs à réaliser ce type d'instrument en étant convaincu qu'ils obtiendront un cadran de bonne précision.

Références

- [1] Regiomontanus, *Calendarium latinum / Der deutsche Kalender*, Nuremberg, 1474, réédité plusieurs fois jusqu'à la fin du XV^e siècle.
<http://daten.digital-sammlungen.de/db/0003/bsb00031080/images/?seite=64>
- [2] O. Fine, *Protomathesis*, Paris, 1532, vol. IV ff. 198v-200v.
<http://www.e-rara.ch/zut/content/pageview/2677434>
- [3] O. Fine, *De solaribus Horologiis, & Quadrantibus*, Paris, 1560, pp. 183-190.
<http://www.e-rara.ch/zut/content/pageview/4411039>

- [4] J. Bullant, *Recueil d'horlogiographie, contenant la description, fabrication et usage des horloges solaires*, Paris, 1561 réédité en 1598 et 1608, pp. 102-110.
http://bvpb.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=50043
- [5] D. de Solla Price, *The Little Ship of Venice — a Middle English Instrument Tract*, Journal of the History of Medicine and Allied Sciences, 1960, XV(4), pp. 399-407.
- [6] J. Kragten, *The Little Ship of Venice – Navicula de Venetiis*, Eindhoven, 1989, révisé en 1997.
- [7] M. Archinard, *Navicula de Venetiis – une acquisition prestigieuse du musée d'histoire des sciences*, N.S. t. XLIII, Genève, 1995.
- [8] C. Eagleton, *Monks, Manuscripts and Sundials, The navicula in Medieval England*, Brill, 2010.
Certaines pages sont consultables ici :
<https://books.google.fr/books?id=SW7NWRm2MkIC&printsec=frontcover>
- [9] Y. Massé, *La Navicula de Venetiis*, présentation PowerPoint, 2011.
http://gnomonique.fr/gnomon/pres_nav_txt.ppt
- [10] Y. Massé, *La navicula de Venetiis*, Cadran-Info n° 28, 2013, pp. 114-120.
http://gnomonique.fr/divers/navicula_de_venetiis.pdf
- [11] J.-M. Rétif, *Les Cadrans solaires de hauteur*, 2016, objet d'Info-Mail n° 29_2017.
L'intégralité de l'article se trouve dans les annexes de la version numérique de Cadran Info n° 36, octobre 2017.
<http://remu-meninge.fr/2016/11/01/cadrans-de-hauteur/>

Dans la version numérique, vous trouverez en annexe :

- Le script Python *Navis_tk.py* utilisé pour réaliser les différentes figures pour la position de la perle.
- Le fichier *Navicul2.dxf* utilisé pour la fig. 2 page 99 et qui permet de réaliser une *Navicula* conforme à la procédure simplifiée.
- Le fichier *Navicul2.pdf* qui permet de voir ou imprimer le contenu du fichier précédent.

