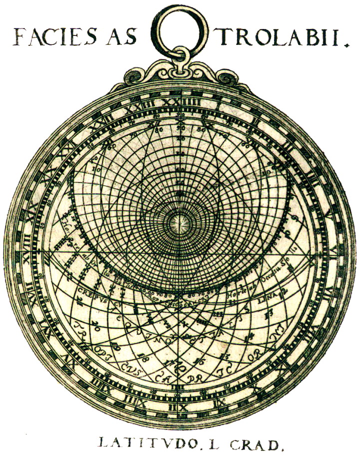


Tracé de l'astrolabe

Le dessin de l'astrolabe qui ne comporte que des droites et des cercles peut être tracé et construit sur papier, carton ou bois, avec seulement, la règle, le compas, le rapporteur, auquel il faut adjoindre minutie et patience.

On connaît plusieurs traités de l'Astrolabe des XVI^e XVII^e et XVIII^e siècles qui décrivaient le tracé et la construction de l'astrolabe planisphérique.

Nous nous inspirerons de :

– pour le texte en français

Traité de la composition et fabrique de l'Astrolabe, & de son usage
Johannes Stöfler, 488 pages, 1560, (Gallica, BNF).

L'Usage des Astrolabes, tant universels que particuliers. Bion Nicolas, 264 pages,1702 (Gallica BNF).

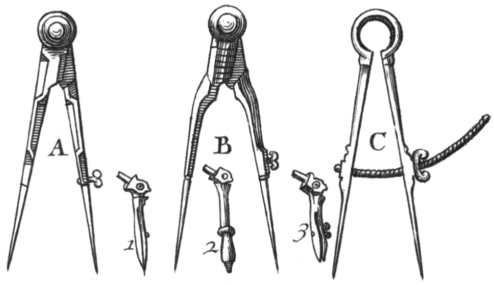
– et aussi pour les constructions

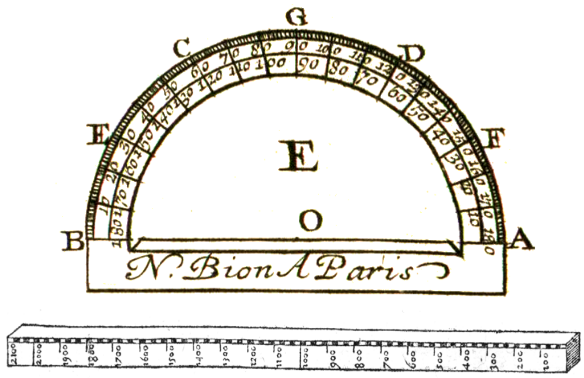
Astrolabium darnach wie dasselbe vielfältig zu gebrauchen : mit Kupferstücken verfertiget. Ritter, Franz Nürnberg, 1613, 200 pages, (e-rara.ch)

*Astrolabii Particularis & Catholici Descriptio , fabricam & usum*Metius, Adriaan, 1632 (Google books)

Outils :

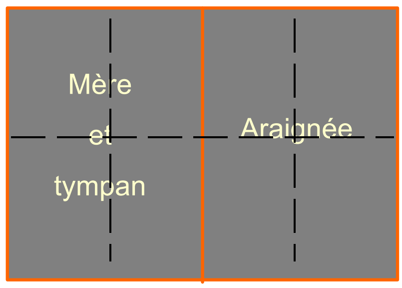
- une feuille A3
- compas, un grand et un petit à balustre
- une règle graduée ou non
- un rapporteur adapté à l'astrolabe





Le tracé de l'astrolabe décrit dans les pages suivantes demande une connaissance élémentaire des parties de l'astrolabe et de leur rôle. On la trouvera soit dans tous les bons livres anciens ou moderne et aussi dans le texte qui précédait ce travail. Voir fichiers présentations : astrolabe_p1.ppt et astrolabe_p2.ppt

Préparation



On travaille sur une grande feuille A3

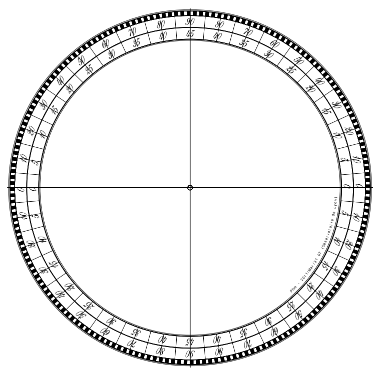
On divise par un trait de crayon la feuille en deux

partie gauche : mère et tympan

partie droite : araignée

ou inversement.

On se propose, connaissant la géométrie et les formules simples des projections de retrouver la manière de tracer les cercles de l'astrolabe planisphérique.

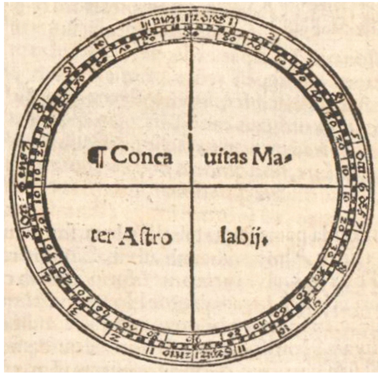


Pour bien cadrer les différents dessins, on va sur chaque moitié de la feuille tracer au crayon et très légèrement (traits occultes facilement effaçables) deux droites perpendiculaires les divisant en quatre.

Pour mesurer les angles, on se servira de rapporteurs transparents adaptés en dimensions aux tracés.

▶ Tracer les droites orthogonales et occultes (à peine marquées que l'on peut effacer) de repères au milieu de chaque moitié (figure ci-dessus)..

Tracé de l'Astrolabe



Le premier travail, que l'on ne fera pas (voir partie Geogebra), consistait à tracer deux graduations circulaires sur l'extérieur :

– une en degrés de quatre quarts de cercle gradués de 0 à 90°

– une deuxième en heures de 0 à 24 ou deux fois de 0 à 12.

Le rayon le plus interne de la graduation intérieure est le cercle externe de la projection du ciel sur l'Astrolabe.

En fonction de la grandeur de l'instrument voulu, il faut choisir le rayon de ce cercle et celui de la graduation extérieure.

Ni trop petit, ni trop grand. Il faut tenir compte de la lisibilité et de l'esthétique.

Certains arcs de cercles de l'astrolabe sont très grands, plus le rayon choisi s'agrandit, plus ils seront difficiles à tracer, leurs centres étant très au delà de la feuille.

Ne pas dépasser 100 mm de diamètre pour le cercle équateur, ceci entraîne un diamètre du cercle du Capricorne de 152.38 mm.

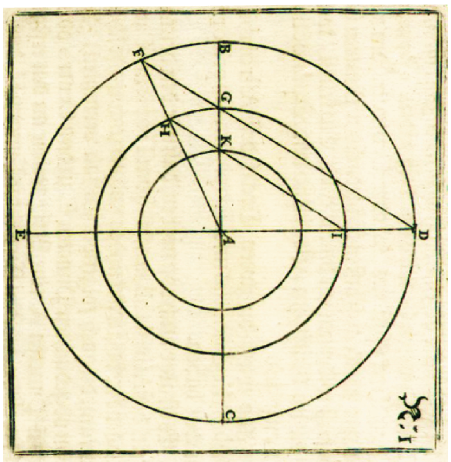
Les graduations seront faite ultérieurement.

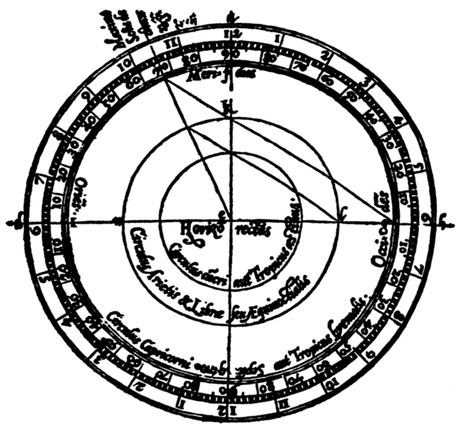
Les trois cercles fondamentaux : équateur et les deux tropiques.

La projection se faisant sur l'équateur, le pôle est au centre du dessin.

⯈ Tracer le cercle du Tropique du Capricorne *ECDB*.

A partir de ce cercle, projection du tropique du Capricorne, choisi comme base de tracé, on construit les deux autres cercles projections de l'équateur et tropique du Cancer. La construction est similaire chez différents auteurs.





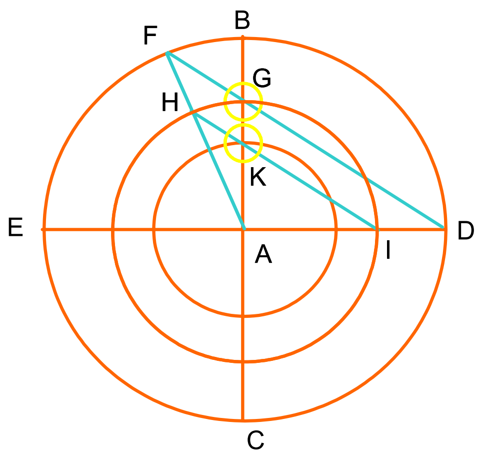
Ritter 1613 Stöfler 1560

On suivra la notation de Ritter.

Ces trois cercles concentriques sont les mêmes pour le tympan ou l'araignée. Il sera judicieux de les construire simultanément pour ne pas avoir à changer les ouvertures de compas.

On se donne l'inclinaison de l'équateur sur l'écliptique ε = 23.45°.

⯈ Tracer le cercle de l'équateur de rayon *AG*.



Prendre *F* sur ce cercle tel que l'angle *EAF* = 90°- ε ou BF = ε.

Tracer *FD*, l'intersection de *FD* et *AB* donne *G*.

AG est le rayon du cercle équateur.

En effet :

$$\angle EDF = \frac{\angle EAF}{2} = \frac{\pi}{4} - \frac{\varepsilon}{2}$$

$$GA = AD \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varepsilon}{2}\right) = AD \cdot \frac{1}{\tan\left(\frac{\pi}{2} - (\frac{\pi}{4} - \frac{\varepsilon}{2})\right)} = AD \cdot \frac{1}{\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{2}\right)}$$

$$AD = AG \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{2}\right)$$

qui est bien l'expression du rayon du cercle du Tropique du Capricorne en fonction du rayon équatorial.

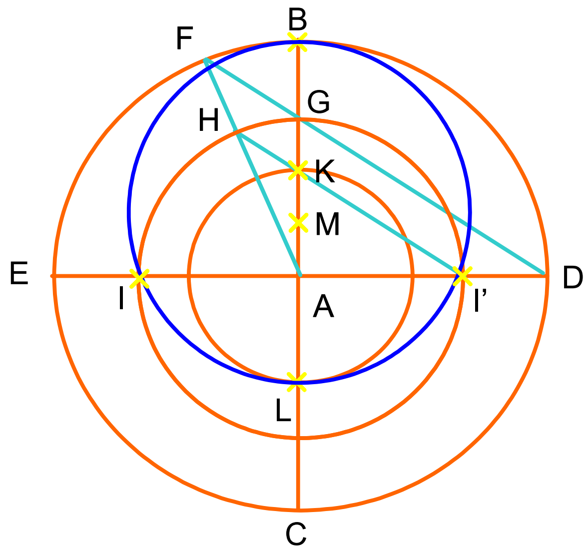
⧐ Tracer le cercle du tropique du cancer rayon *AK*.

Même démarche pour le Tropique du Cancer :

Soit *H* intersection *FA* avec le cercle équateur, et *I* intersection *AD* avec ce même cercle. On trace *HI*. L'intersection de *HI* avec *AB* donne le point *K*. *AK* est le rayon du cercle du Tropique du Cancer. On fait le même raisonnement que précédemment pour la démonstration.

La ligne *BC* devient la **méridienne du tympan**, *B* au Sud, *C* au Nord et *ED* la **ligne Est-Ouest**, *E* à l'Est et *D* à l'Ouest.

Tracé de l'écliptique sur l'araignée



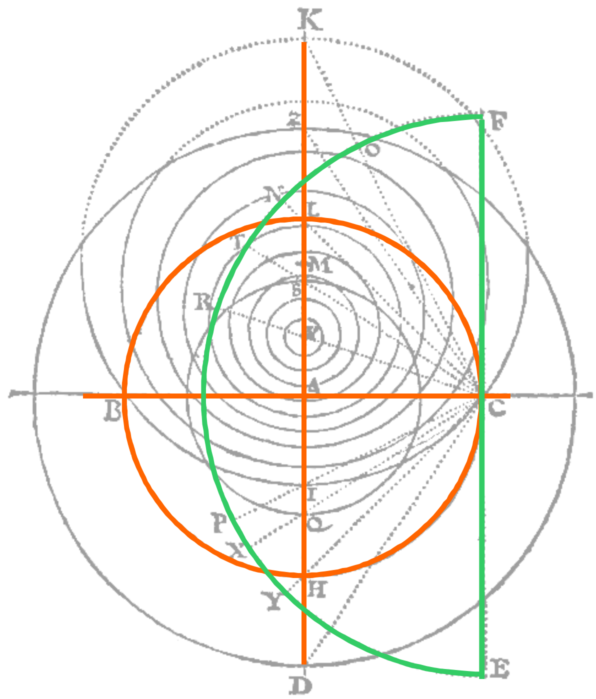
Les mêmes cercles étant tracés sur le côté araignée, on oriente celle-ci de façon que le point γ intersection de l'écliptique et de l'équateur soit à gauche. C'est le point *I* de la figure ci-contre. L'autre intersection étant *I'*.

Le cercle écliptique étant tangent aux deux cercles tropiques, il a pour diamètre *LB*.

Son centre est au milieu de *LB*, en *M*, et son rayon *MB*

⧐ Déterminer au compas ou à la règle le point *M*, tracer le cercle écliptique *LIBI'*.

Zénith, horizon et almicantarats



Utilisons le schéma de la projection dans le plan méridien pour les almicantarats de Metius (1627, pages 2 ou 5). Voir schéma agrandi en fin de document.

On travaille sur deux plans :

- le plan de projection de l'astrolabe avec
  - le cercle équateur *LBHC* (rouge)
  - les cercles des tropiques (bleus)
  - la ligne Nord-sud (*KD*)
- le plan méridien rabattu sur le plan de projection suivant la ligne nord-sud
  - plan méridien : *CLBH* idem au cercle équateur
  - Pôle Nord : *B*
  - Centre de projection : *C*
  - Projection du méridien : segment *KLAHD*
  - Rapporteur : demi-cercle *EFNRP* (vert) centré sur le centre de projection.

■ Position du Zénith : on prend l'angle *BCR* égal à la moitié du complément de la latitude 90°-φ/2, ou angle polaire du zénith puisque le zénith est à cette distance angulaire du pôle.

Il faut choisir la latitude pour laquelle on veut tracer l'astrolabe. Pour Lyon on prendra 45,45°. Sur le rapporteur, en *R* on lira sur l'échelle normale (90°-φ)/2 ou sur l'échelle double (90°-φ).

⧐ Tracer la direction *RC* qui fait l'angle (90°-φ)/2 avec *BC*.

L'intersection de *RC* et *KD* donne la projection du zénith *V*.

■ Cercle horizon

A partir de la direction *CR* du zénith, les deux points Nord et Sud de l'horizon sont à 45° (90° échelle double) de part et d'autre du zénith, et aussi sur la ligne méridienne.

▶ Tracer les directions *CK* et *CD* à 45° de *CR*. Leurs intersections donnent avec la ligne méridienne *KD* le point Nord en *I* et la point Sud en *K*.

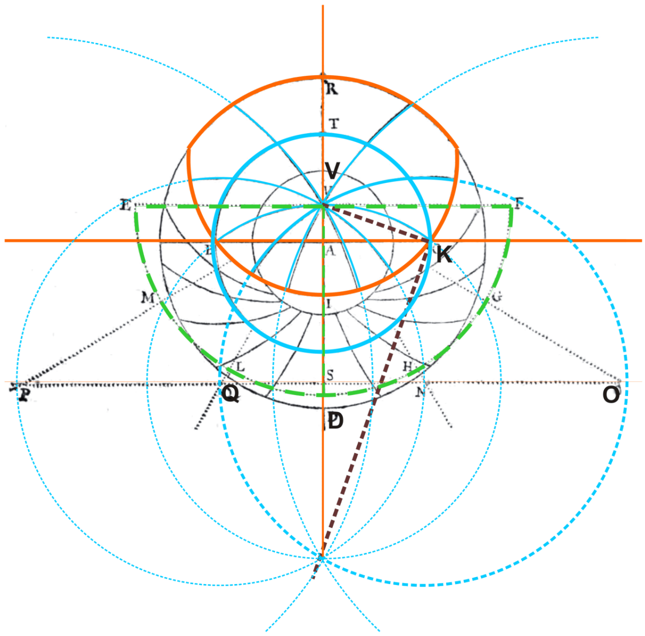
KI est le diamètre de l'horizon. Déterminer le centre *M* au compas ou à la règle. Tracer le cercle horizon. Normalement l'arrêter à la limite du tropique du Capricorne.

■ Almicantarats

L'horizon est un almicantarat à 90° du zénith. Pour tracer un almicantarat à *z* degrés du zénith (ou hauteur 90°-*z*), il suffit de tracer les deux directions qui sont à z/2 degrés (ou z degrés sur l'échelle double) de *CVR*. Leurs intersections avec le méridien *DK* donnent les deux points du diamètre de l'almicantarat. Il reste à prendre le milieu pour centre et tracer le cercle et le limiter éventuellement à la limite du tropique du Capricorne.

▶ Tracer les almicantarats pour des distances zénithales de 15, 30, 45, 60 et 75 degrés, ou plus serrés.

Cercles de même azimuts



Ils passent par le Zénith et le Nadir (Metius p. 6).

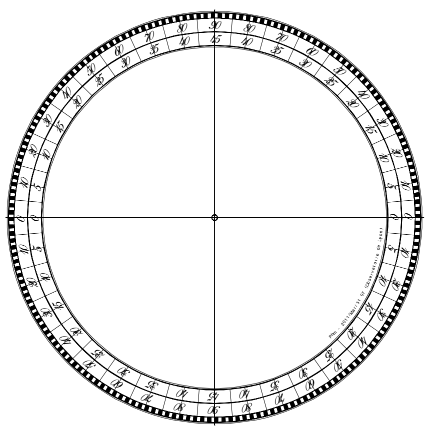
Dans la construction, les points horizons étaient à 45° (90° échelle double) de la direction du Zénith.

Le Nadir sera sur la direction à 90° (180° échelle double) et à l'intersection avec le méridien. Les cercles de même azimut auront leurs centres sur la médiatrice du segment Zénith-Nadir.

▶ Tracer le Nadir, et élever la médiatrice du segment Zénith-Nadir au compas ou à la règle et rapporteur.

En *V* (Zénith), les cercles doivent faire avec la ligne méridienne un angle *a* d'azimut. La tangente au cercle fait avec *VD (méridienne)* le même angle *a*. Le centre du cercle d'azimut *a* est sur la perpendiculaire à la tangente en *V* au cercle et sur la médiatrice.

Exemple pour l'azimut de 60°. Au rapporteur centré en *V, on détermine VQ* qui fait 30° avec la méridienne. La perpendiculaire à *VQ* en *V* déterminée au rapporteur coupe la médiatrice des centres en *O* qui sera le centre du cercle d'azimut 60° (et aussi 240°) et de rayon *OV*. Les cercles d'égal azimut sont limités eux aussi à l'horizon et au tropique du Capricorne.



▶ Tracer les azimut de 30 en 30° selon la méthode précédente.

Araignée, graduation de l'écliptique.

La position du Soleil sur l'écliptique est repéré par une graduation soit en signe du Zodiaque (un signe = 30° de longitude), soit en longitude ou bien les deux. Au dos de l'astrolabe on trouvait une table circulaire faisant correspondre jour de l'année avec ces graduations.

A cause de l'inclinaison de l'écliptique, la longitude écliptique du Soleil n'est pas égale à son ascension droite quoique les origines des deux coordonnées soit la même au point γ. Pour tracer les repères en longitudes sur l'écliptique, il faut connaître les ascensions droites des repères en longitudes.

Tous les livres sur l'astrolabe fournissent, de 5 en 5°, la table des ascensions droites correspondant aux longitudes le long de l'écliptique.

Ici nous avons la table de Ritter 1613. Cette table, suivant les ouvrages, peut avoir de très légères différences d'un livre à l'autre à cause de la valeur choisie pour l'inclinaison de l'équateur sur l'écliptique.

Das IX. Capitel. 81

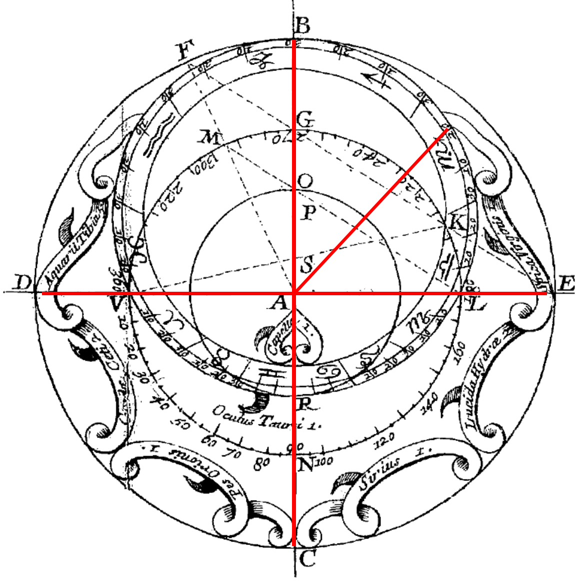
TABULA ASCENSIONUM RECTARUM.
Tafel der geraden Aufffteigungen.

ARIES Wider. ♈			LEO Löw. ♌			SAGITTARIUS Schütz. ♐		
Grad	Grad	Minuten.	Grad	Grad	Minuten.	Grad	Grad	Minuten.
5	4	35	5	127	22	5	243	3
10	9	11	10	132	27	10	248	21
15	13	48	15	137	29	15	253	43
20	18	27	20	142	25	20	259	7
25	23	9	25	147	18	25	264	33
30	27	54	30	152	6	30	270	0
	TAURUS Stier. ♉			VIRGO Jungfrau ♍			Capricornus Steinbock ♑	
5	32	42	5	156	51	5	275	27
10	37	35	10	161	33	10	280	53
15	42	31	15	166	12	15	286	17
20	47	33	20	170	49	20	291	39
25	52	38	25	175	25	25	296	57
30	57	48	30	180	0	30	302	12
	GEMINI Zwilling ♊			LIBRA Waag. ♎			Aquarius Wasserm. ♒	

Exemple de tracé avec *L'Usage des Astrolabe*s, Bion Nicolas, 1702.

Pour tracer les repères des longitudes, on part du repère géocentrique (centre : le pôle projeté *A*) et avec le rapporteur centré en *A*, on trace les traits de repères prolongement des graduations du rapporteur sur l'écliptique avec les valeurs des angles de la table ci-dessus. Le zéro de la graduation étant au point vernal (*V* sur la figure, intersection équateur-écliptique).

Planche 5.



▶ Tracer deux cercles concentriques à l'écliptique et un peu plus petits pour les graduations.

Avec le petit rapporteur centré en *A* et orienté correctement (0 vers le point vernal) tracer les graduations en longitudes de 10 en 10° ou mieux de 5 en 5° et/ou les signes du zodiaques dans le sens direct.

Les limites des signes du Zodiaque correspondent aux longitudes 0°, 30°, 60°, 90°,...., 330°, 360°, puisque qu'il n'est qu'une graduation.

Remarque

Sur l'Astrolabe construit en bristol, ces graduations n'apparaissent pas. Elles sont remplacées par un calendrier qui ceinture l'araignée à l'extérieur. Seul l'écliptique apparaît sous forme de cercle, ce qui allège la vision du tympan sous-jacent. Ceci n'était pas envisageable avec la dérive du calendrier avant la Réforme grégorienne qui a fixé le jour de printemps au 21 mars, date conventionnelle.

Positionnement des étoiles.

On trouve dans les livres décrivant la construction de l'astrolabe, la liste des étoiles les plus brillantes et leurs positions. Celles-ci sont données, habituellement, pour une année proche de celle d'édition du livre.

Stöfler (1560) : 46 étoiles repérées par le signe, la médiation [1] et la déclinaison de chaque étoile

Metius (pour 1630) : 73 étoiles avec ascensions droites et déclinaisons

Ritter (pour 1620) : 51 étoiles avec longitudes et latitudes

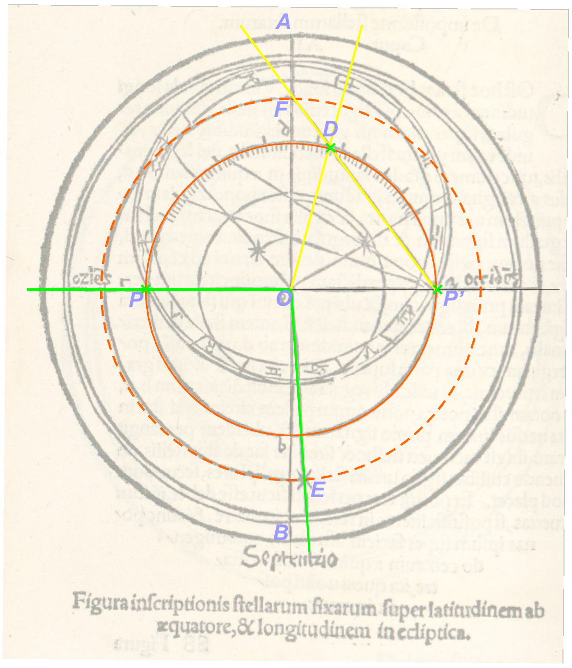
Bion (pour 1701) : 31 étoiles avec ascensions droites et déclinaisons

	Asc. recta G.	Asc. recta M.	Declinat. G.	Declinat. M.
Schedir Caffiopeæ.	4	56.	54	30.B
Auftralis cauda Cete.	6	19.	20	2.A
Cingul. Andromedæ.	12	10.	33	36.B
Venter Cete.	23	20.	12	16.A
Præc. cornu Arietis.	23	12.	17	27.B
Auftralis pes Androm.	23	18.	17	11.B
Prima cornu Arietis,	23	30.	17	21.B
Luc. ♈.	26	40.	21	43.B
Cete Nares.	40	45.	2	23.B
Caput Medufæ.	41	0.	39	30.B
Luc. latus Perfei,	44	32.	47	40.B
Luc. Pleiad.	51	30.	22	56.B
Perfei calcaneum.	54	40.	30	45.B
Aldebaran ♉.	63	38.	15	42.B

On peut remarquer qu'en fait tout au plus la moitié de ces étoiles étaient portée sur l'araignée à cause de la complexité de la construction pour l'ajourage.

[1] *Médiation* : angle pris le long de l'écliptique jusqu'à l'intersection de celui-ci avec le demi-cercle d'ascension droite de l'objet. Il est compté en degré dans le sens direct.

Exemple de procédé de positionnement chez Ritter.



On connaît l'ascension droite et la déclinaison de l'étoile.

On construit le cercle de même déclinaison. Il est centré en *O*. Son rayon est la distance *OF*, *F* étant la projection du point *D*. Le pont *D* sur le cercle écliptique a la déclinaison de l'étoile. La projection de *D*, intersection de l'équateur *AB* et de *P'D* donne le point *F*. Tous les points du cercle de centre *A* et de rayon *OF* ont pour déclinaison la déclinaison choisie. Bien sûr, en *P'* l'angle *PP'D* vaut la moitié de l'angle polaire de le déclinaison de l'étoile.

Angle *AOD* : déclinaison, angle polaire : *POD*. Demi angle polaire : *PP'D*.

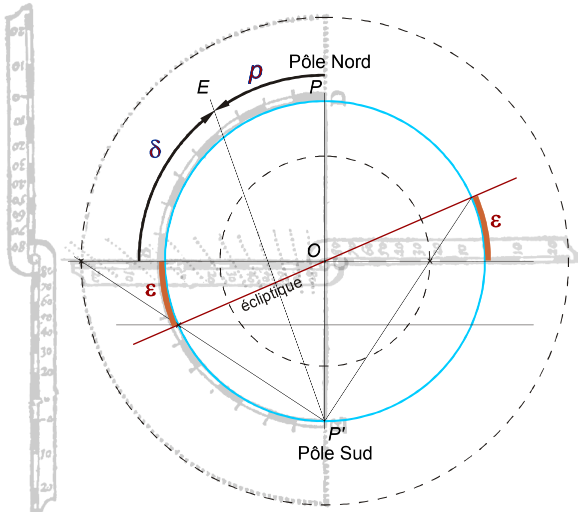
On trace ce cercle et la projection de l'étoile est en *E* intersection du cercle et de la direction *OE* telle que *POE* = l'ascension droite de l'étoile.

⯈ Pour les étoiles choisies parmi les plus brillantes et réparties tout au long des ascensions droites

– tracer la droite occulte de sa direction d'ascension droite (*OE* sur la figure)

– trouver le point *F* correspondant à la déclinaison et avec le compas reporter la longueur *OF* sur *OE*.

Graduation de l'Ostentor



L'ostentor qui permet de repérer la direction du Soleil, donc l'heure, lue sur la graduation externe de la mère, est gradué sur sa longueur en déclinaison.

Le principe de tracé est le même que pour trouver la déclinaison des étoiles, sauf que l'on fait toutes les graduations en une seule fois.

⯈ Dessiner un ostentor en fonction de la dimension prise pour le cercle du tropique et à l'aide du rapporteur tracer les repères de 10 en 10 degrés.

Pour cela, on trace en trait obscur :

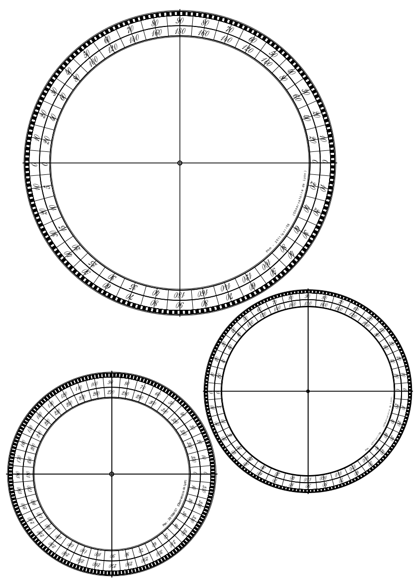
– un cercle du rayon du petit rapporteur,

– un trait *PP'* perpendiculaire à l'ostensor.

Pour un angle polaire *POE* = *p* = 90°-δ on trace *p'E*.

L'intersection avec le trait de l'ostentor donne la position de la graduation pour la déclinaison voulue.

Les rapporteurs



Pour faciliter le tracé des directions, la feuille transparente contient trois rapporteurs.

1 – En haut un grand rapporteur avec un double échelle :

– la première à l'extérieur divisant le cercle en quatre quadrants de 0 à 90°

– l'autre avec des valeurs doubles de la précédente, qui permet de ne pas calculer l'angle moitié lorsque l'on va tracer une direction à partir du centre de projection.

2 – à droite, le même rapporteur que précédemment, mais plus petit pour tracer vers le centre de l'astrolabe.

3 – en bas à gauche, un rapporteur classique de 0 à 360°, valeurs dans le sens direct et le sens inverse.

Autres bibliographies

Fundamentale onderwijsinghe Aengaende de Fabrica en het veelvoudigh gebruyck van het Astrolabium…
Metius, Adriaan Adriaansz,, 1627 (e-rara.ch)

L'usage de l'astrolabe, avec un petit traicté de la sphere. Seconde édition. Paris
Jacquinot, Dominicq, 1558 (Google books)

Catalogues d'étoiles brillantes

Travail sur tableur :
en partant du catalogue *Bright Stars* sous forme de fichier "xls", que l'on trouve sur le net ou à
http://www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/docu_astro/le_ciel/bs_v5.xls
et en faisant des tri successifs, ne garder que les étoiles plus brillantes qu'une magnitude donnée, plus au nord que le tropique du Capricorne.

On peut supprimer les colonnes, mais *en partant des plus lointaines* :
– à partir de AI (comprise),
– AD à AG,
– Z à AB,
– X, V, U, S, R,
– I à O

Avec Géogebra

Géogébra apporte la facilité de tracé des segments, droites, cercles et arc de cercles. Par contre l'écriture des lettres et chiffres souffre de l'orientation unique.

En conséquence, on se proposons de tracer tous les traits de l'astrolabe et quelques écritures de façon automatique pour s'adapter aux latitudes et à l'esthétique, le reste des écritures étant fait à la main par l'artiste ou par l'utilisation d'un autre logiciel plaquant les caractères sur le tracé mis en image.

Pour l'araignée, on a deux solutions :

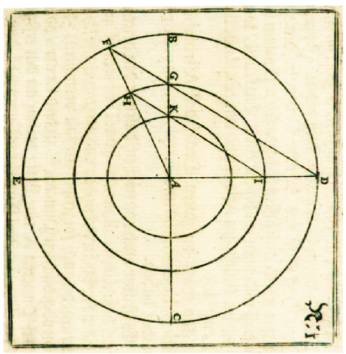
- on imprime les traits et positions des étoiles sur transparent, mais il est difficile d'écrire dessus. Par contre on peut imprimer sur papier, faire les écritures et photocopier (attention aux changements d'échelle) sur transparent.
- on dessine sur la feuille imprimée, les formes de l'araignée à l'ancienne que l'on découpe.

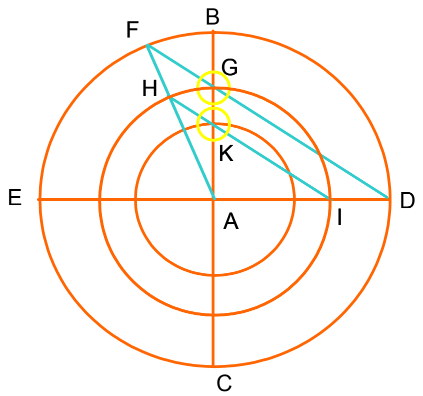
Le protocole de construction peut être suivi et utilisé par copié-collé (pas forcément à la lettre dans les fichiers *tympan_protocole.html* et *araignee_protocole.html* ou les fichiers PDF similaires. Dans ces tableaux, on n'a gardé que le nom et la syntaxe de la commande.

Certaines formules dans Geogebra n'ont pas été simplifiées, pour bien montrer la formule mathématique que l'on applique. On peut le faire ultérieurement.

Les cercles de base : Tropiques, équateur et écliptique.

On se sert du schéma de Ritter avec ses notations :





Protocole commun au tympan et à l'araignée :

Valeurs de départ : inclinaison de l'équateur sur l'écliptique et rayon du cercle du Tropique du Capricorne :

Angle ε		ε = 23.45°
Nombre r_{cap}		r_{cap} = 152.25
Point A		A = (0, 0)
Cercle r_{cap}	Cercle de centre A et de rayon r r_{cap}	c_{cap}: $x^2 + y^2$ = 23180.0625

Construction du cercle équateur

Point F	(r_{cap}; ε + 90°)	F = (152.25; 113.45°)
Segment sg1	Segment [A,F]	sg1 = 152.25
Point D	(r_{cap}, 0)	D = (152.25, 0)
Segment sg2	Segment [D,F]	sg2 = 254.5763
Point G	Point d'intersection de sg2 et axeY	G = (0, 99.9145)
Nombre r_{equ}	Longueur de Vecteur[A,G]	r_{equ} = 99.9145
Cercle c_{equ}	Cercle de centre A et de rayon r_{equ}	c_{equ}: $x^2 + y^2$ = 9982.905

Construction du cercle Tropique Cancer

Point H	Point d'intersection de c_{equ} et sg1	H = (-39.7608, 91.6623)
Point I	(r_{equ}, 0)	I = (99.9145, 0)
Segment sg3	Segment [H,I]	sg3 = 167.0664
Point K	Point d'intersection de sg3 et axeY	K = (0, 65.5692)
Nombre r_{can}	Distance[A,K]	r_{can} = 65.5692
Cercle c_{can}	Cercle de centre A et de rayon r_{can}	c_{can}: $x^2 + y^2 = 4299.3151$

Sauver ce travail dans le fichier *trac_tympan.ggb*
Sauver une deuxième fois dans le fichier *trac_araignee.ggb*

Tracé de l'écliptique :

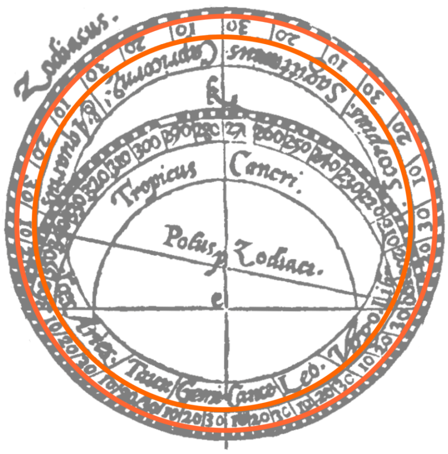
On crée en premier lieu les points du graphique de Ritter : B, C, E, L.
Puis on crée le point M milieu du segment BL, centre du cercle écliptique, on calcule le rayon et trace le cercle écliptique.

Point C	Point d'intersection de c_{cap} et DemiDroite[A, (0, -1)]	C = (0, -152.25)
Point B	Point d'intersection de c_{cap} et DemiDroite[A, (0, 1)]	B = (0, 152.25)
Point E	Point d'intersection de c_{can} et DemiDroite[A, (-1, 0)]	E = (-152.25, 0)
Point L	Point d'intersection de c_{can} et DemiDroite[A, (0, -1)]	L = (0, -65.5692)
Point M	Milieu de [LB] (MilieuCentre[L,B])	M = (0, 43.3404)
Nombre r_{ecl}	Longueur de Vecteur[M, L]	r_{ecl} = 108.9096
Cercle c_{ecl}	Cercle de centre M et de rayon r_{ecl}	c_{ecl}: $x^2 + (y - 43.3404)^2 = 11861.2969$

On termine cette première partie en créant, dans les deux fichier, un bouton d'affichage "Construction" pour voir ou masquer tous les points et les segments de construction.

Valeur booléenne fconstruc		fconstruc = false

Traits des graduations de l'écliptique



On construit un cercle un peu plus petit que le cercle écliptique et de même centre. Il portera la graduation en longitude de l'écliptique. On se choisit une largeur de graduation et trace ce petit cercle.

Puis on construit par une séquence les segments entre les deux cercles des traits correspondant à tous les 5 degrés, mais centré sur sur le centre de l'astrolabe et non sur le centre du cercle de l'écliptique.

On refait une deuxième séquence de trait tous les 30°, mais on épaissira la largeur des segments pour marquer les limites des signes.

Nombre lgr		lgr = 10
Nombre recl2	recl - lgr	recl2 = 98.9096
Cercle cecl2	Cercle de centre M et de rayon recl2	cecl2: $x^2 + (y - 43.3404)^2 = 9783.1053$
Liste slg	Séquence[Segment[Intersection[cecl, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[cecl2, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 5°]	slg = {11.006, 10.9972, ... , 11.006}
Liste slg2	Séquence[Segment[Intersection[cecl, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[cecl2, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 30°]	slg2 = {11.006, ... , 11.006}

Positionnement des étoiles

Dans le fichier *trac_tympan0.ggb*, on trouve dans le tableur, les 13 étoiles les plus brillantes
A1 à A13 : noms
B1 à B13 : alpha en heures décimales
C1 à C13 : delta en degrés décimaux

On crée deux listes des données : alpha et delta et une donnée net qui contient le nombre d'étoiles.

Liste alpha	{B1:B13}	alpha = {4.5987, ... , 20.6905}
Liste delta	{C1:C13}	delta = {16.5092, ... , 45.2803}
Nombre net	Longueur[alpha]	net = 13

Deux façons de positionner les points étoiles

1 - Purement géométrique comme les anciens en positionnant un point par sa distance au centre, qui se construit par sa projection intersection d'un objet de déclinaison delta avec l'axe de Y, et orienté suivant alpha.

Liste PP	Séquence[(Longueur[Vecteur[Intersection[Droite[(requ; Elément[delta, i] ? / 180 + 90°), I], axeY], A]]; Elément[alpha, i] 15 ? / 180 + 180°), i, 1, net]	PP = {(74.5972; 248.98°), ... , (41.0999; 130.3579°)}

2 - En utilisant la formule de la projection pour connaître sa distance au centre en fonction de sa déclinaison et sa direction en ascension droite.

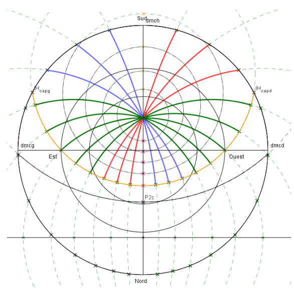
Liste P	Séquence[(requ tan(45° - Elément[delta, i] / 2 ? / 180); Elément[alpha, i] ? / 180 * 15 + 180°), i, 1, net]	P = {(74.5972; 248.98°), ... , (41.0999; 130.3579°)}

La figure obtenue et le protocole de construction se trouve dans le fichier *araignee_protocole.html*

Construction du Tympan

On reprend le fichier *trac_tympan.ggb*
Désormais, quand on parle du "tropique", on sous-entend le tropique du Capricorne qui limite l'astrolabe.

On définit l'espacement entre les almicantarats et les grands cercles d'azimut. Ce qui donne le nombre de cercles à tracer	
Angle d_{alm}	
Angle d_{az}	
Nombre n_{az}	180° / d_{az} - 1
Nombre n_{alm}	90° / d_{alm}
Positionnement du Zénith et du Nadir	
Angle φ	Curseur
Point z	Point d'intersection de axeY et DemiDroite[I, Vecteur[A, (1; 180° - (90° - φ) / 2)]]
Point z'	Point d'intersection de axeY et DemiDroite[I, Vecteur[A, (1; 270° - (90°–φ) / 2)]]
Construction des almicantarats	
Définitions des angles pour les projections entre l'axe AC et les deux directions symétriques de l'almicantarat sur le cercle méridien (séquences lp1 et lp2) Calcul des positions des points Nord et Sud de chaque almicantarat (séquences P1 et P2)	
Liste lp1	Séquence[180° - φ - i, i, 0°, 90°, d_{alm}] 180 / π

Liste lp2	Séquence[i - φ, i, 0°, 90°, d_{alm}] 180 / π
Liste P1	Séquence[Intersection[axeY, DemiDroite[I, Vecteur[A, (1; π - Elément[lp1, i] / 2 π / 180)]]], i, 1, nalm - 1]
Liste P2	Séquence[Intersection[axeY, DemiDroite[I, Vecteur[A, (1; (180 - Elément[lp2, i] / 2) π / 180)]]], i, 1, n_{alm} - 1]
Tracé des cercles almicantarats qui serviront à la construction des cercles ou arcs de cercles définitifs après limitation par le tropique du Capricorne..	
Liste calmi	Séquence[Cercle[MilieuCentre[Elément[P1, i], Elément[P2, i]], Distance[Elément[P1, i], Elément[P2, i]] / 2], i, 1, n_{alm} - 1]
L'horizon et les premiers almicantarats sont coupés par le tropique. Les suivants sont entiers. On recherche le rang du premier cercle entier *n_{almi}*, l'horizon ayant rang 1 dans la séquence des cercles et l'on trace : - les arcs de cercles des almicantarats les plus bas *arch1* - les cercles des autres *arch2* - on renforce l'arc horizon par un deuxième arc que l'on fera colorié et plus épais	
Liste yP1	y(P1)
Nombre n_{almi}	NbSi[x > r_{cap}, yP1]
Liste arch1	Séquence[ArcCercleCirconscrit[Intersection[dmcg, Elément[calmi, i]], Elément[P2, i], Intersection[dmcd, Elément[calmi, i]]], i, 1, n_{almi}]
Liste arch2	Séquence[Cercle[MilieuCentre[Elément[P1, i], Elément[P2, i]], Distance[Elément[P1, i], Elément[P2, i]] / 2], i, n_{almi} + 1, n_{alm} - 1]
Arc archor	ArcCercleCirconscrit[Intersection[dmcg, Elément[calmi, 1]], Elément[P2, 1], Intersection[dmcd, Elément[calmi, 1]]]
On crée un bouton de visualisation pour faire apparaître ou disparaître les cercles entiers de construction des almicantarats	
Valeur booléenne b	
Cercles des mêmes azimuts	
Construction des centres des cercles et tracé de la médiatrice à zz' Construction des points des centres *Pa*. Tracé des cercles de même azimut *cazim* pour la construction des arcs de cercles limités par l'horizon et le tropique.	
Droite zzmed	Médiatrice[z,z']
Liste Pa	Séquence[Intersection[Médiatrice[z, z'], Droite[z, Vecteur[A, (1; 360° - i)]]], i, d_{az}, 180°, d_{az}]
Liste razim	Séquence[Longueur[Vecteur[z, Elément[Pa, i]]], i, 1, n_{az}]
Liste cazim	Séquence[Cercle[Elément[Pa, i], Elément[razim, i]], i, 1, n_{az}]
Demi-cercle d'intersection Pour trouver les intersections à l'est et à l'ouest et les différencier, on construits deux demis-cercles :	
Arc dmcg	DemiCercle[C, B]
Arc dmcd	DemiCercle[B, C]
Les cercles de mêmes azimuts sont tous limités soit par - le cercle du tropique du capricorne et l'horizon - l'horizon en deux points On classe ces arcs de cercles en trois catégories - limités par l'horizon en deux points (vert) - limités par l'horizon et le tropique à gauche (bleu) - limités par l'horizon et le tropique à droite (rouge) Il faut donc trouver en fonction de la latitude les indices dans la séquence des cercles d'azimuts qui limitent ces différentes catégories. On part de la direction Nord (en bas) et en tournant dans le sens rétrograde - l'indice du dernier arc horizon-horizon - l'indice du dernier arc horizon-tropique à gauche	

Pour cela on construits les points d'intersection à gauche et à droite des cercles azimuts avec - le tropique *IA_{capd}* et *IA_{capg}* - l'horizon *IH_{capd}* et *IH_{capg}* On en prend les ordonnées y_{acap} et on les compare avec l'ordonnée de l'intersection de l'horizon avec le tropique *IH_{capd}* et *IH_{capg}* et ordonnée *yIH_{cap}*	
Point IH_{capg}	Point d'intersection de dmcg et Elément[calmi, 1]
Point IH_{capd}	Point d'intersection de dmcd et Elément[calmi,1]
Nombre yIH_{cap}	y(Intersection[dmcd, Elément[calmi, 1]])
Liste IA_{capd}	Séquence[Intersection[dmcd, Elément[cazim, i]], i, 1, n_{az}]
Liste IA_{capg}	Séquence[Intersection[dmcg, Elément[cazim, i]], i, 1, n_{az}]
Liste IAH	Séquence[Intersection[Elément[cazim, i], Elément[arch1, 1]], i, 1, n_{az1}]
Liste IAH2	Séquence[(-x(Elément[IAH, i]), y(Elément[IAH, i])), i, 1, n_{az1}]
Liste y_{acap}	Séquence[y(Elément[IAcapg, i]), i, 1, n_{az}]
On en tire les deux indices des limites des tracés	
Nombre n_{az1}	NbSi[x < y(IH_{capd}), ya_{cap}]
Nombre n_{az2}	n_{az} - n_{az1}
Tracé des trois groupes d'arcs	
Liste arcazg	Séquence[ArcCercleCirconscrit[Elément[IAH, i], z, Elément[IA_{capd}, i]], i, 1, n_{az2}]
Liste arcazd	Séquence[ArcCercleCirconscrit[Elément[IAcapg, n_{az} - i + 1], z, Elément[IAH2, i]], i, 1, n_{az2}]
Liste arcazh	Séquence[ArcCercleCirconscrit[Elément[IAH, i], z, Elément[IAH2, n_{az} - i + 1]], i, n_{az2} + 1, n_{az1}]
Bouton d'affichage des objets de construction des azimuts	
Valeur bool. c	
Tracé des axes Nord-Sud et Est-Ouest et points cardinaux	
Segment axeEO	Segment [E,D]
Segment axeNS	Segment [B,C]
Texte texte1	"Est" à positionner à l'est à l'extérieur de l'équateur
Texte texte2	"Ouest" à positionner à l'ouest à l'extérieur de l'équateur
Texte texte4	"Sud" à positionner en haut juste à l'intérieur du tropique du Capricorne
Texte texte3	"Nord" à positionner en bas juste à l'intérieur du tropique du Capricorne
Arc de cercle du crépuscule On calcule les deux points du méridien par où passe l'almicantarat de -18° (*P1C* et *P2c*), son cercle puis l'arc à l'intérieur du tropique.	
Point P1c	Point d'intersection de axeY et DemiDroite[I, Vecteur[A, (1; 180° - (180° -φ + 18°) / 2)]]
Point P2c	Point d'intersection de axeY et DemiDroite[I, Vecteur[A, (1; 180° - ((-(18))° - φ) / 2)]]
Cercle ccresp	Cercle de centre MilieuCentre[P1c, P2c] et de rayon Longueur[Vecteur[P1c, P2c]] / 2
Arc arccrep	ArcCercleCirconscrit[Intersection[dmcg, ccresp], P2c, Intersection[dmcd, ccresp]]

Graduations circulaires

Voir le principe de construction d'une graduation circulaire dans le diaporama *trac_astrolabe.ppt* (diapo 36).

Il reste à tracer les **graduations de la Mère** en degrés et heures.
Certains astrolabes comportent sur le pourtour de la mère un grand nombre de graduation, des degrés aux signes

du Zodiaque en passant par la rose des vents. Nous nous contenterons des deux essentielles :
- la graduation en degrés qui pour être plus précise sera dédoublé, l'une en degrés et l'autre de 10 en 10 degrés,
- la graduation en heures dites à l'époque *heures égales* correspondant au temps solaire vrai, car les heures communes étaient les *heures inégale*s ou *temporaires* (voir ci-dessous).

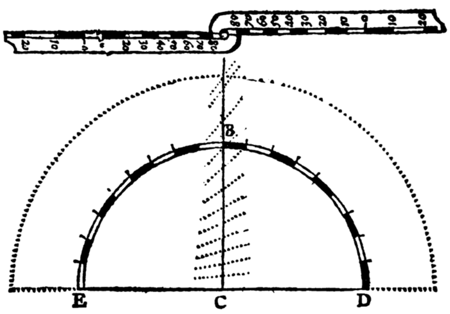
On se donne les hauteurs des graduations que l'on pourra ajuster pour la place et l'esthétique.
On trace les cercles extérieurs au tympan et on construit les séquences des traits suivant le même principe que les traits des longitudes sur l'écliptique.

Nombre hg1	à fixer entre 4 et 6
Nombre hg2	à fixer entre 5 et 7
Cercle c_{gra1}	Cercle[A, r_{cap} + hg1 / 2]
Cercle c_{gra2}	Cercle[A, r_{cap} + hg1]
Cercle c_{gra3}	Cercle[A, r_{cap} + hg1 + hg2]
Liste grd2	Séquence[Segment[Intersection[c_{gra2}, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[c_{gra1}, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 1°]
Liste grd3	Séquence[Segment[Intersection[c_{gra2}, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[c_{gra3}, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 15°]
Liste grd1	Séquence[Segment[Intersection[c_{cap}, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[c_{gra1}, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 5°]

Sous Geogebra, après impression, il faudra calligraphier les valeurs.

L'ostentor

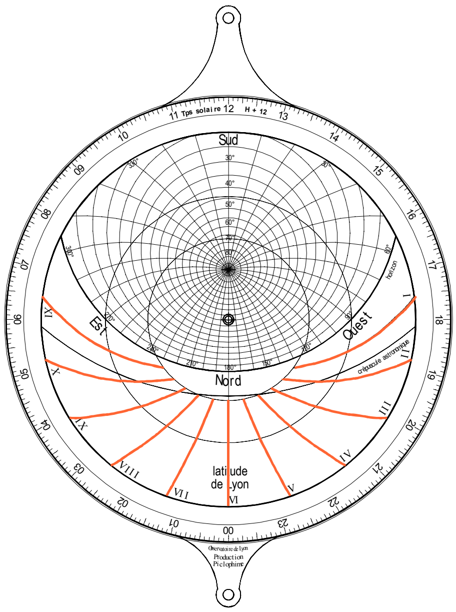
L'ostentor permet de repérer la position du Soleil pour un jour donné en se référant à l'écliptique et à son échelle zodiacale ou aux longitudes. Ainsi en tournant avec l'araignée, il indiquera l'heure sur la graduation externe de la mère.
Pour connaître la déclinaison des objets sur l'araignée, l'ostentor possède souvent sur le bord passant par le centre d'une graduation en déclinaison. Celle-ci est très utile si l'on ne possède pas de table des coordonnées équatoriales du Soleil pour l'usage de certaines fonctionnalités du dos.
Le dessin de Métius montre le principe du tracé de cette graduation.
La graduation va jusqu'au tropique du Capricorne, mais l'ostentor doit être assez grand pour aller jusqu'à la graduation des heures de la mère.

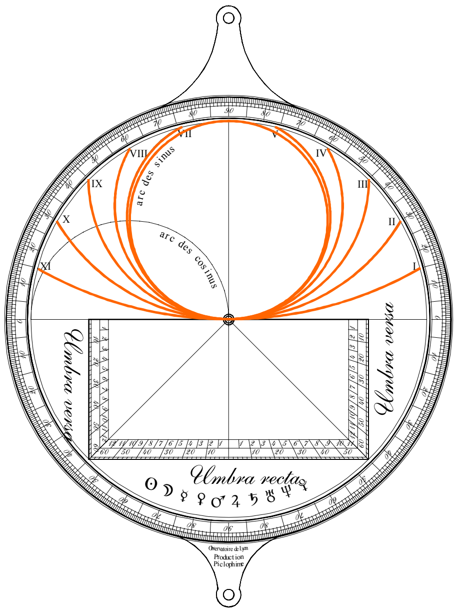


((protocole Geogebra à construire)

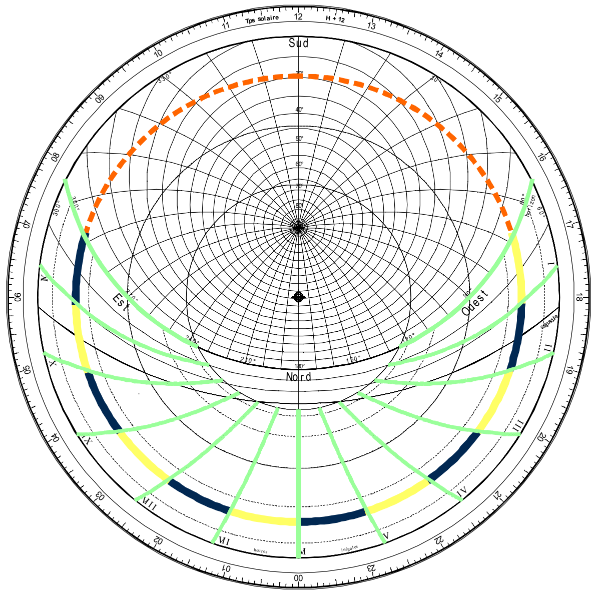
Les heures temporaires ou inégales

L'astrolabe est un instrument principalement utilisé pour obtenir l'heure solaire.
Mais durant de nombreux siècles, l'heure solaire telle que nous l'observons sur l'astrolabe par la transposition sur le tympan de la hauteur du Soleil pour avoir son angle horaire, n'était pas celle communément utilisée.
L'heure de tout le monde, heure locale, était appelée *heure temporaire* ou *inégale*. Elle consistait, de l'instant du lever du soleil (0h) à celui de son coucher (12 heures) à diviser la durée entre ces deux instants en 12 parties égales qui donnaient les heures du jour. Idem pour la nuit. Sauf aux équinoxes, les heures temporaires ne coïncidaient pas avec les heures solaires conventionnelles de 24 heures égales et la durée de l'heure variait tout au long de l'année.
Pour s'adapter à l'usage commun, l'astrolabe comportait des courbes d'heures temporaires, soit du côté du tympan dans la partie laissée libre sous l'horizon (figure de gauche), soit au dos de l'instrument dans un quart ou une moitié du centre de ce dos (figure de droite).





Côté tympan



Pour une date donnée, le Soleil parcourt un cercle de rayon correspondant à la déclinaison du jour (cercle pointillé orange). La partie basse du tympan sous l'horizon, correspond à la nuit lors de la rotation du Soleil. L'arc de cercle parcouru la nuit peut être divisée en 12 parties égales (arcs de cercle jaunes et bleus). Chaque partie correspondra à une heure temporaire.
Si l'on rejoint tous les points correspondants de la même heure temporaire (I, II, III...) tout au long de l'année, on obtient la courbe de cette heure temporaire (courbes vertes).
Ces courbes n'ont pas une forme analytique simple et pour les tracer, on se contente de calculer quelques points (5 ou 3) correspondant aux déclinaisons lors des changements de signes. De Hollander propose 5 points que l'on lisse par une courbe. Stöfler plus simplement fait passer des cercles par les trois points situés sur l'équateur et les deux tropiques.
C'est cette méthode que l'on utilisera sous Geogebra. Un cercle auxiliaire de rayon variable sur lequel on porte les points de séparation des heures, permet de vérifier que l'erreur commise est minime par rapport à l'heure approximative qui rythmait la vie des braves gens.

En fait ces heures de nuit peuvent être utilisées en heures de jour, car la position du Soleil à six mois d'intervalle inverse les durées des jours et des nuits. Donc pour une date donnée, à une heure donnée, si l'on place le Soleil à son point antisolaire (longitude décalée de 180° sur l'écliptique soit à 180° en ascension droite et déclinaison opposée), la partie basse donnera les heures temporaires de jour.

On calcule les intersections de l'horizon avec les trois cercles principaux (équateur, tropiques).

Point IT_1 et IT_2	Intersection[c_{can}, Elément[calmi, 1]] que l'on renomme en IT_1 (Est) et IT_2 (Ouest)
Point IT_3 et IT_4	Intersection[c_{equ}, Elément[calmi, 1]] que l'on renomme en IT_3 (Est) et IT_4 (Ouest)
Point IT_5 et IT_6	Intersection[c_{cap}, Elément[calmi, 1]] que l'on renomme en IT_5 (Est) et IT_6 (Ouest)

et l'on calcule les angles correspondants aux directions centre-points pour avoir l'ouverture en degrés des arcs

Angle θ_1	Angle[(1, 0), A, IT_1]
Angle θ_2	Angle[(1, 0), A, IT_2]
Angle θ_3	Angle[(1, 0), A, IT_3]
Angle θ_4	Angle[(1, 0), A, IT_4]
Angle θ_5	Angle[(1, 0), A, IT_5]
Angle θ_6	Angle[(1, 0), A, IT_6]
Angle $d\theta_{equ}$	$\theta_4 - \theta_3$
Angle $d\theta_{cap}$	$\theta_6 - \theta_5$
Angle $d\theta_{can}$	$\theta_2 - \theta_1$

On recherche les points qui divisent les arcs nocturnes en 12 arcs égaux après avoir calculé les angles de toutes les directions, par le calcul du pas angulaire de chaque douzième d'arc et leurs positions sur les arcs.

Liste θ_{can}	Séquence[i ($\theta_2 - \theta_1$) / 12 + θ_1, i, 1, 11]
Liste θ_{cap}	Séquence[i ($\theta_6 - \theta_5$) / 12 + θ_5, i, 1, 11]
Liste θ_{equ}	Séquence[i ($\theta_4 - \theta_3$) / 12 + θ_3, i, 1, 11]
Liste θ_{int}	Séquence[i ($\theta_8 - \theta_7$) / 12 + θ_7, i, 1, 11]
Liste PT_{can}	Séquence[(rcan; θ1 + i dθcan / 12), i, 1, 11]
Liste PT_{equ}	Séquence[(requ; θ3 + i dθequ / 12), i, 1, 11]
Liste PT_{cap}	Séquence[(rcap; θ5 + i dθcap / 12), i, 1, 11]

Ayant pour chaque heure trois points, il reste à tracer les arcs passant par ceux-ci.
Mais il faut le faire en deux fois, pour l'Est et pour l'Ouest, car le trait VI heures (midi) correspond à trois points alignés (rayon infini de l'arc) et Geogebra est en défaut.

Liste arctemp1	Séquence[ArcCercleCirconscrit[Elément[PTcan, i], Elément[PT_{equ}, i], Elément[PT_{cap}, i]], i, 1, 5]
Liste arctemp2	Séquence[ArcCercleCirconscrit[Elément[PT_{can}, i], Elément[PTequ, i], Elément[PT_{cap}, i]], i, 7, 11]

On peut vérifier que les courbes sont proches des vrais courbes en créant les points sur un cercle de déclinaison variable dont on fera varier le rayon avec un curseur :

Nombre r	curseur allant de r_{can} à r_{cap}
Cercle c_{int}	Cercle[A, r]
	Intersection[c_{int}, Elément[calmi, 1]]
Point IT_8	Intersection[c_{int}, Elément[calmi, 1]]
Angle θ_8	Angle[(1, 0), A, IT_8]
Angle θ_7	Angle[(1, 0), A, IT_7]
Angle $d\theta_{int}$	$\theta_8 - \theta_7$
Liste θ_{int}	Séquence[i ($\theta_8 - \theta_7$) / 12 + θ_7, i, 1, 11]
Liste PT_{int}	Séquence[(r; θ_7 + i $d\theta_{int}$ / 12), i, 1, 11]

On créera un bouton de visibilité pour les points et angles de construction

Valeur booléenne d	

Quelques compléments

- un cercle extérieur de découpe à 0.5 mm
- un texte pour afficher la latitude de l’astrolabe.

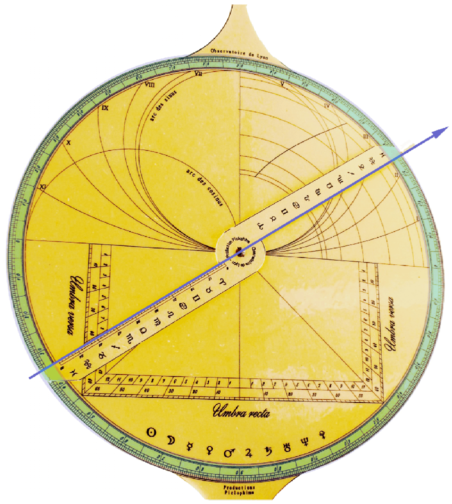
Cercle c_{decoup}	Cercle[A, r_{cap} + hg1 + hg2 + 0.5]
Texte texte5	"φ=" + (floor(φ)) + (floor((x((φ 180 / π, 0)) - floor(x((φ 180, 0)) / π)) 60)) + ""

- une image pour mettre un suspensoir
  L’inclure dans le fichier Geogebra.
  Créer deux points qui seront les positions des coins 1 et 2 de l’image.
  Ajuster la position et grandeur en jouant en jouant sur les positions des points.
  Cacher les points.

Image image1	position à ajuster dans la fenêtre *Propriétés*, onglet *Position*

Le résultat du tracé obtenu et le protocole de construction se trouvent dans le fichier *tympan_protocole.html*

Dos de l’Astrolabe



Au dos, une seule fonction est propre à tous les astrolabes : la mesure de la hauteur des astres avec l’alidade et la graduation externe des hauteurs de 0 à 90°.
Les autres fonctions : heures temporaires, carrés des ombres, fonctions trigonométriques, calendrier, heures de prières, etc, sont à la demande.

Nous nous occuperons de quatre fonctions d’usage assez courant :
mesure des hauteurs,
fonctions trigonométriques sinus et cosinus,
carrés des ombres et tangentes,
heures inégales ou temporaires.

Graduation des hauteurs

Le rayon externe de l’astrolabe sera le même que celui du tympan, et nous choisissons les largeurs des deux graduations pour tracer les cercles correspondants de centre A (0,0):

Nombre r_{cap}	
Nombre hg1	
Nombre hg2	
Point A	(0,0)
Cercle c_{cap}	Cercle[A, r_{cap}]
Cercle c_{gra1}	Cercle[A, rcap + hg1 * 0.75]
Cercle c_{gra2}	Cercle[A, rcap + hg1 * 1.35]
Cercle c_{decoup}	Cercle[A, rcap + hg1 + hg2 + 0.5]
Cercle c_{axe}	Cercle[A, 1]

On peut tracer les graduations par degré et tous les 5 degrés

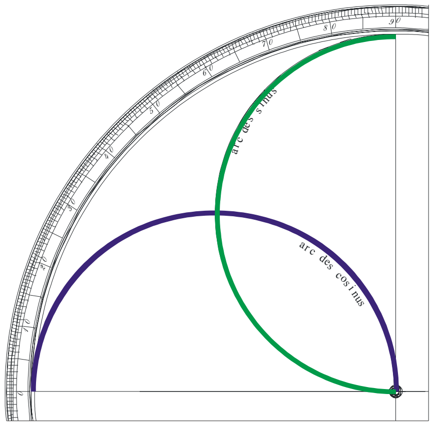
Liste grd1	Séquence[Segment[Intersection[cgra2, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[cgra1, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 5°]
Liste grd2	Séquence[Segment[Intersection[cgra2, DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[cext, DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 0°, 360°, 1°]

La visée et mesure se fait au moyen d’une alidade (voir plus bas).

Fonctions trigonométriques

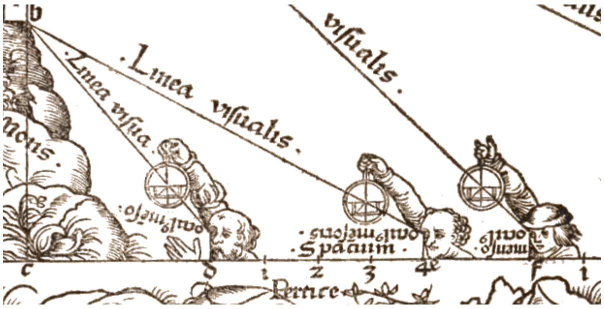
Sinus et cosinus

On construit les points B, C, D et E pour tracer les traits intérieurs et les demi-cercles des sinus et cosinus

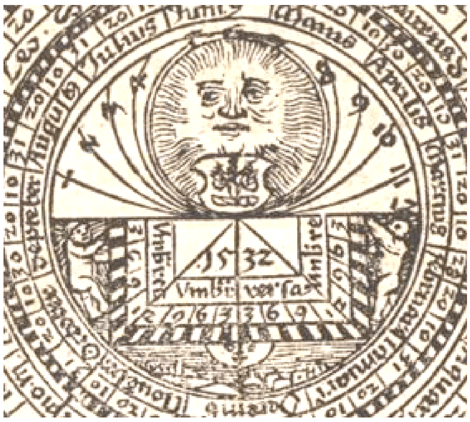


Point B	Intersection[c_{cap}, DemiDroite[A, (0, 1)]]
Point C	Intersection[c_{cap}, DemiDroite[A, (0, -1)]]
Point D	(r_{cap}, 0)
Point E	Intersection[c_{cap}, DemiDroite[A, (-1, 0)]]
Arc dc_{cos}	DemiCercle[E, A]
Arc dc_{sin}	DemiCercle[A, B]
Segment axeEO	Segment[E, D]
Segment axeNS	Segment[B, C]

Carré des ombres



Le carré des ombres, à partir d'une visée à l'alidade du dos, permet de lire directement, sous forme fractionnaire la tangente ou la cotangente de l'angle entre l'horizon et la direction.
Il se compose de deux demi carrés dont les bords externes sont gradués en fraction du côté (1/6ème, 1/12ème ou 1/30ème).
Il comporte souvent deux graduation (ici dans le dessin, en 6ème et 12ème de côté.
Ayant la place, on fera 3 graduations : au 6, 12 et 30 ème.
Pour avoir de la précision, le carré des ombres sera le plus grand possible.
Il sera inscrit dans la partie inférieur. Ceci détermine le côté du carré :



Nombre l_{cdo}	r_{cap} sqrt(2) / 2

On se donne les largeurs des graduations

Nombre $l1_{cdo}$	
Nombre $l2_{cdo}$	$l1_{cdo}$ 2
Nombre $l3_{cdo}$	$l1_{cdo}$ 2

On trace les traits des carrés et des limites des graduations en créant des listes des abscisses et des ordonnées des extrémités des segments.
Les segments sont tracés sous forme de séquence :

Liste x_{cdo}	{-(l_{cdo}), -(l_{cdo}), l_{cdo}, l_{cdo}}
Liste y_{cdo}	{0, -(l_{cdo}), -(l_{cdo}), 0}
Liste $x2_{cdo}$	{-(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$, l_{cdo} - $l1_{cdo}$, l_{cdo} - $l1_{cdo}$}
Liste $y2_{cdo}$	{0, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$, 0}
Liste $x3_{cdo}$	{-(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$, l_{cdo} - l1cdo - $l2_{cdo}$, lcdo - $l1_{cdo}$ - $l2_{cdo}$}
Liste $y3_{cdo}$	{0, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$, 0}
Liste $x4_{cdo}$	{-(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$ + $l3_{cdo}$, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$ + $l3_{cdo}$, l_{cdo} - $l1_{cdo}$ - $l2_{cdo}$ - $l3_{cdo}$, l_{cdo} - $l1_{cdo}$ - $l2_{cdo}$ - $l3_{cdo}$}
Liste $y4_{cdo}$	{0, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$ + $l3_{cdo}$, -(l_{cdo}) + $l1_{cdo}$ + $l2_{cdo}$ + $l3_{cdo}$, 0}
Liste tr_{cdo}	Séquence[Segment[(Elément[x_{cdo}, i], Elément[y_{cdo}, i]), (Elément[xcdo, i + 1], Elément[y_{cdo}, i + 1])], i, 1, 3]
Liste $tr2_{cdo}$	Séquence[Segment[(Elément[$x2_{cdo}$, i], Elément[$y2_{cdo}$, i]), (Elément[$x2_{cdo}$, i + 1], Elément[$y2_{cdo}$, i + 1])], i, 1, 3]
Liste $tr3_{cdo}$	Séquence[Segment[(Elément[$x3_{cdo}$, i], Elément[$y3_{cdo}$, i]), (Elément[$x3_{cdo}$, i + 1], Elément[$y3_{cdo}$, i + 1])], i, 1, 3]
Liste $tr4_{cdo}$	Séquence[Segment[(Elément[$x4_{cdo}$, i], Elément[$y4_{cdo}$, i]), (Elément[$x4_{cdo}$, i + 1], Elément[$y4_{cdo}$, i + 1])], i, 1, 3]

Et l'on trace les graduations. Pour une question de commodité, on trace chaque côté séparément, et aussi les parties verticales et horizontales

Liste sgtg	Séquence[Segment[Intersection[Elément[tr_{cdo}, 1], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr2_{cdo}$, 1], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 181.5°, 225°, 1.5°]
Liste sgtg2	Séquence[Segment[Intersection[Elément[$tr2_{cdo}$, 1], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr3_{cdo}$, 1], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 187.5°, 225°, 7.5°]
Liste sgtg3	Séquence[Segment[Intersection[Elément[$tr3_{cdo}$, 1], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr4_{cdo}$, 1], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 183.75°, 225°, 3.75°]
Liste sgtd	Séquence[Segment[Intersection[Elément[tr_{cdo}, 3], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr2_{cdo}$, 3], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 320°, 360°, 2.5°]
Liste sgtd2	Séquence[Segment[Intersection[Elément[$tr2_{cdo}$, 3], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr3_{cdo}$, 3], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 322.5°, 360°, 7.5°]
Liste sgtd3	Séquence[Segment[Intersection[Elément[$tr3_{cdo}$, 3], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr4_{cdo}$, 3], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 318.75°, 360°, 3.75°]
Liste sgtm	Séquence[Segment[Intersection[Elément[tr_{cdo}, 2], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr2_{cdo}$, 2], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 226.5°, 360°, 1.5°]
Liste sgtm2	Séquence[Segment[Intersection[Elément[$tr2_{cdo}$, 2], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr3_{cdo}$, 2], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 232.5°, 360°, 7.5°]
Liste sgtm3	Séquence[Segment[Intersection[Elément[$tr3_{cdo}$, 2], DemiDroite[A, (1; α)]], Intersection[Elément[$tr4_{cdo}$, 2], DemiDroite[A, (1; α)]]], α, 228.75°, 360°, 3.75°]

Cercles des heures temporaires

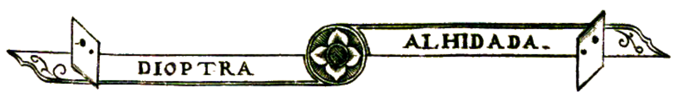
Les cercles des heures temporaires tracés au dos de l'astrolabe ne sont qu'une approximation. La géométrie et la précision de lignes sont expliquées dans *L'Astrolabe* de De Hollander (page 137 et suivantes).
On trace d'abord les cercles suivant les formules du livre : séquence des rayons et séquence des cercles. Leurs points d'intersection avec le quart de cercle sont créés pour ensuite tracer les arcs de cercles des heures temporaires.

Valeur booléenne a_1	
Liste r_{HI}	Séquence[r_{cap} / (2 sin(i)), i, 15°, 90°, 15°]
Liste c_{HI}	Séquence[Cercle[(0, Elément[r_{HI}, i]), Elément[r_{HI}, i]], i, 1, 6]
Arc qc	ArcCercle[A, D, B] Quart de cercle pour les intersections
Liste P_{HI}	Séquence[Intersection[Elément[c_{HI}, i], qc], i, 1, 6]
Liste arc_{HI}	Séquence[ArcCercle[(0, Elément[r_{HI}, i]), A, Elément[P_{HI}, i]], i, 1, 6]

L'utilisation des heures temporaires demande l'usage de l'alidade.

Pour un jour donné, le Soleil atteint une hauteur maximale de φ + δ (du jour). On place l'alidade sur cette hauteur et on repère sur l'alidade son intersection avec le demi cercle de midi. Ce Point décrit un cercle quand la hauteur du Soleil change. Ce point par interpolation dans les cercles donne l'heure temporaire.

Tracé de l'alidade et de son échelle.



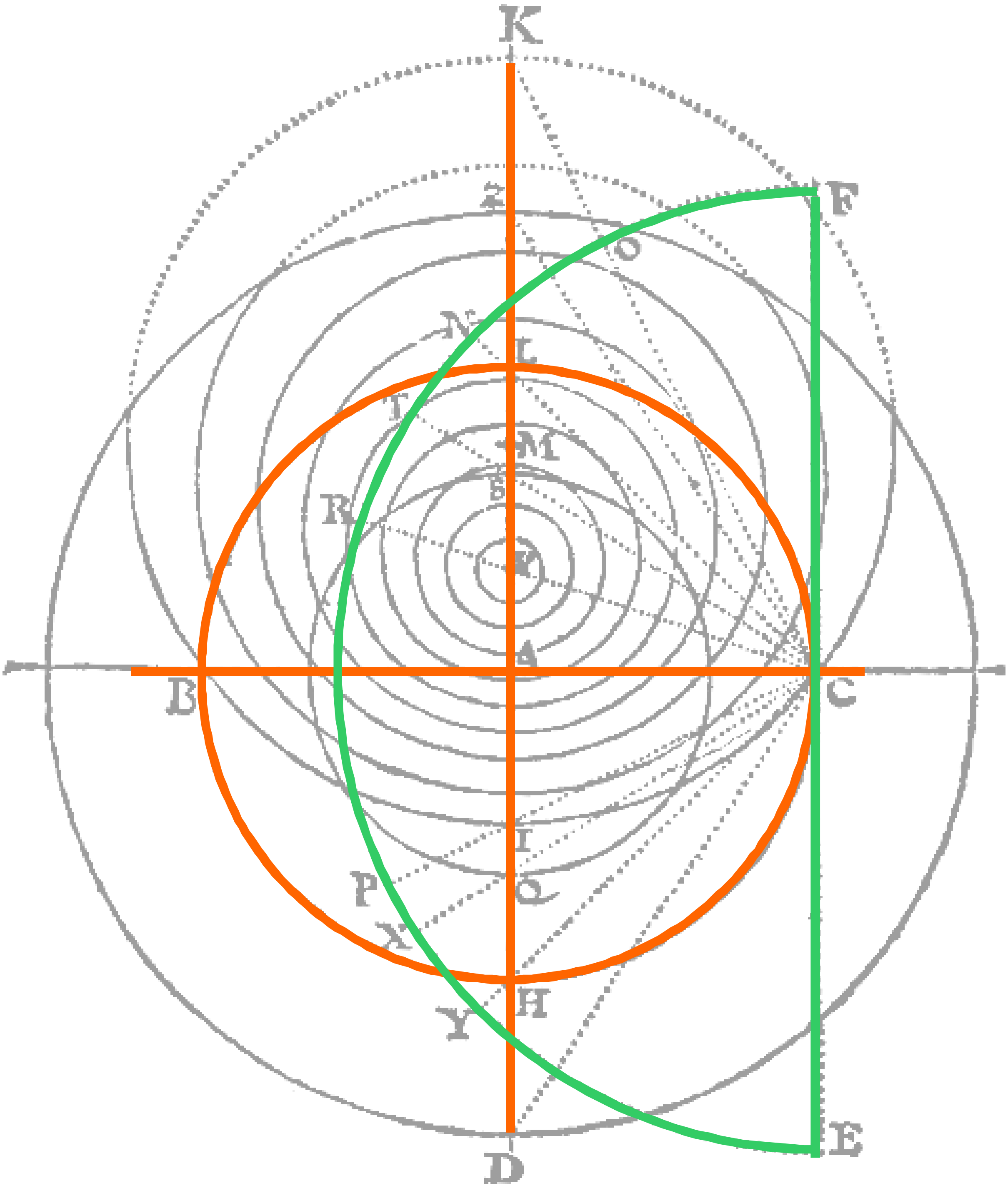
L'alidade sert à viser un objet dans le ciel pour en avoir sa hauteur lue sur la graduation du dos de l'astrolabe.
Les dos d'astrolabe qui possèdent les fonctions sinus et cosinus ont sur un des côté de l'astrolabe une graduation qui va du centre au rayon utile des cercles trigonométrique, qui divise ce segment pris pour unité en soixante parties.

Tracé des Almicantarats

(Cercles de même hauteur)

Métius (1627, pages 2 ou 5)

*Astrolabii Particularis & Catholici Descriptio , fabricam & usum*Metius, Adriaan



Tracé des cercles de même Azimuts

Métius (1627 page 6)

Astrolabii Particularis & Catholici Descriptio , fabricam & usum