LA NOMOGRAPHIE SOLAIRE

Francis Ziegeltrum

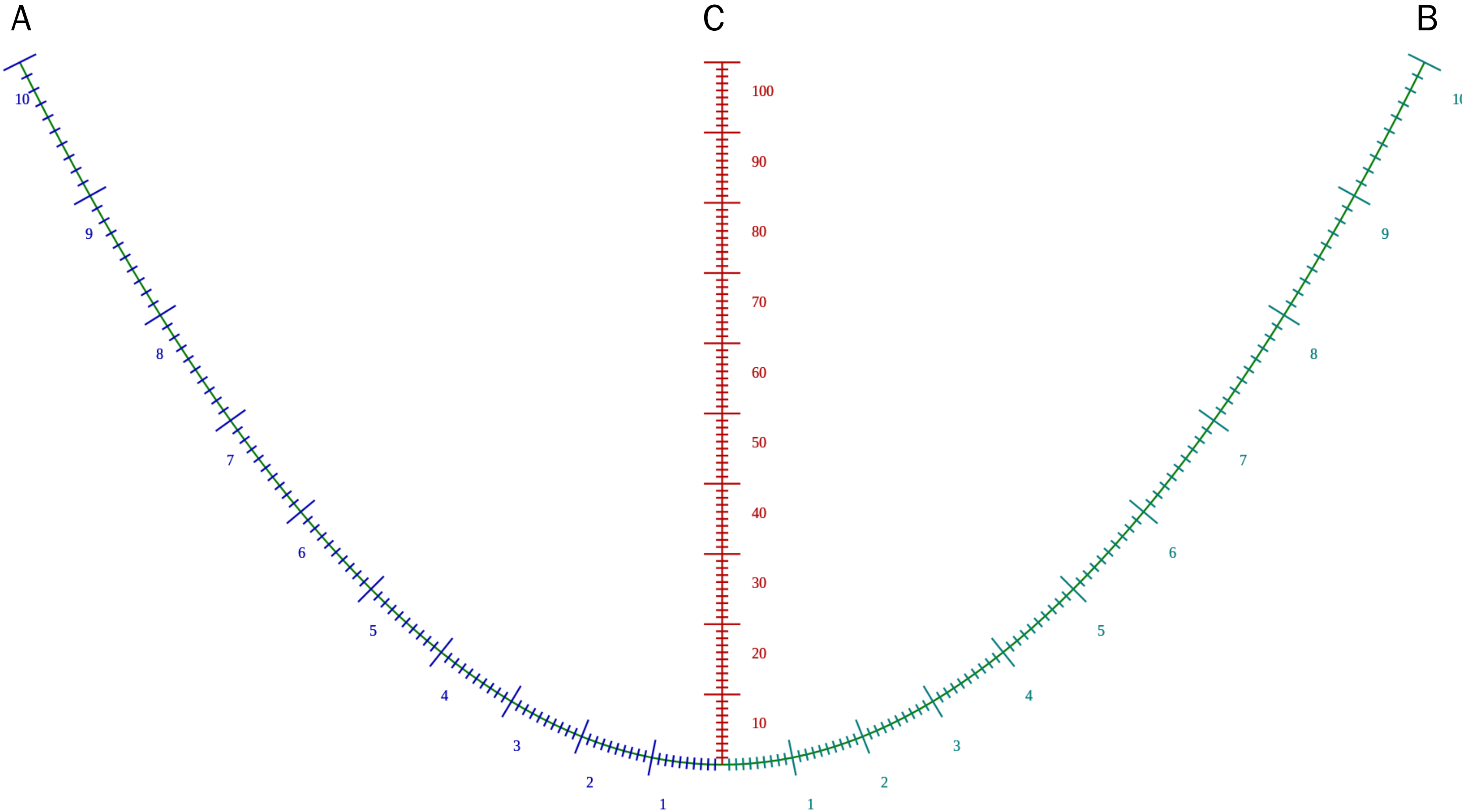
Réunion CCS – Beaune - Juin 2019

sommaire

- Arithmétique graphique
- La nomographie
- Application à la trigonométrie sphérique
- Heures de lever et coucher du Soleil
- Azimut / heure / déclinaison
- Rétrogradation de l'ombre

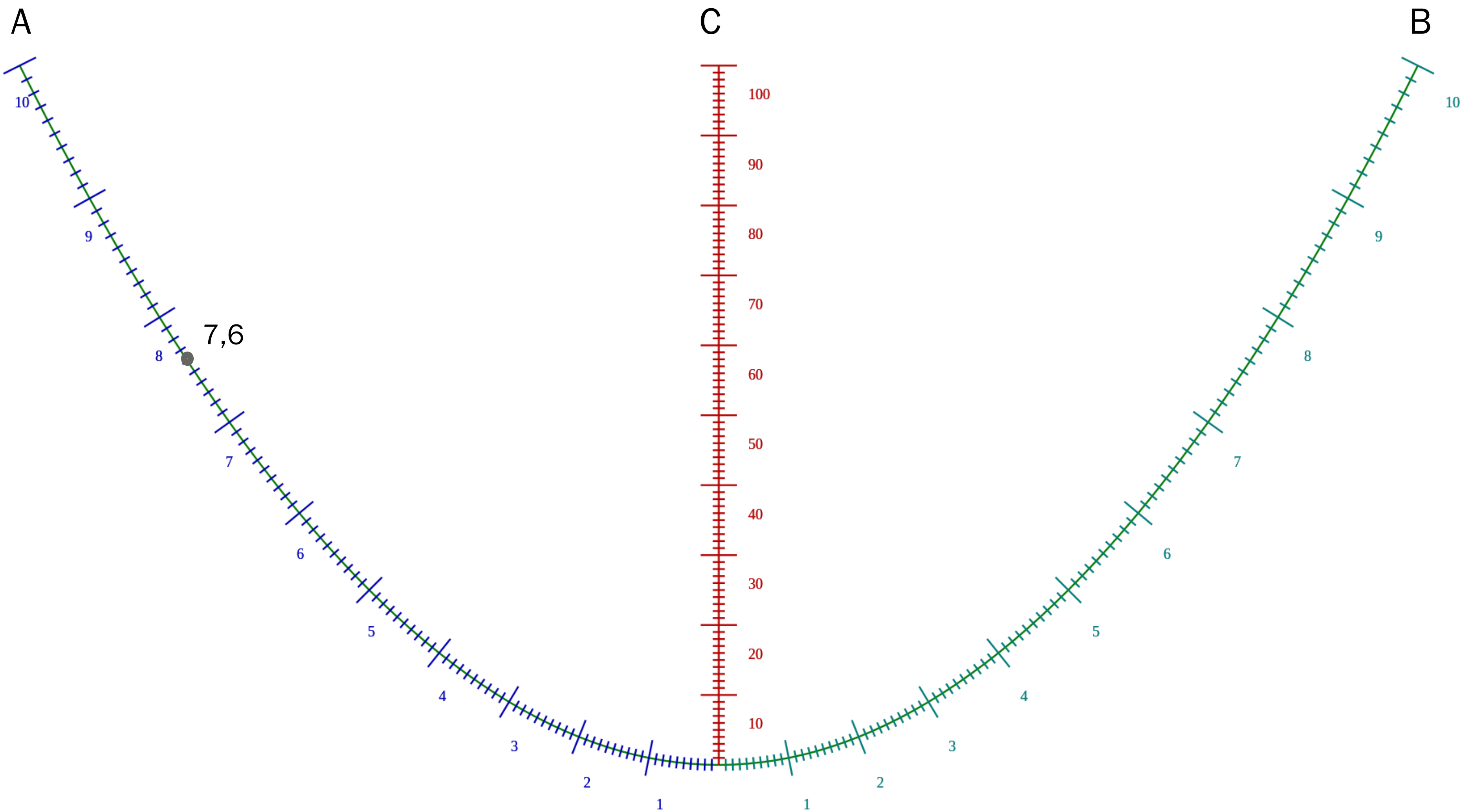
multiplication: C= A x B

Nomogramme à points alignés



multiplication: C= A x B
Nomogramme à points alignés

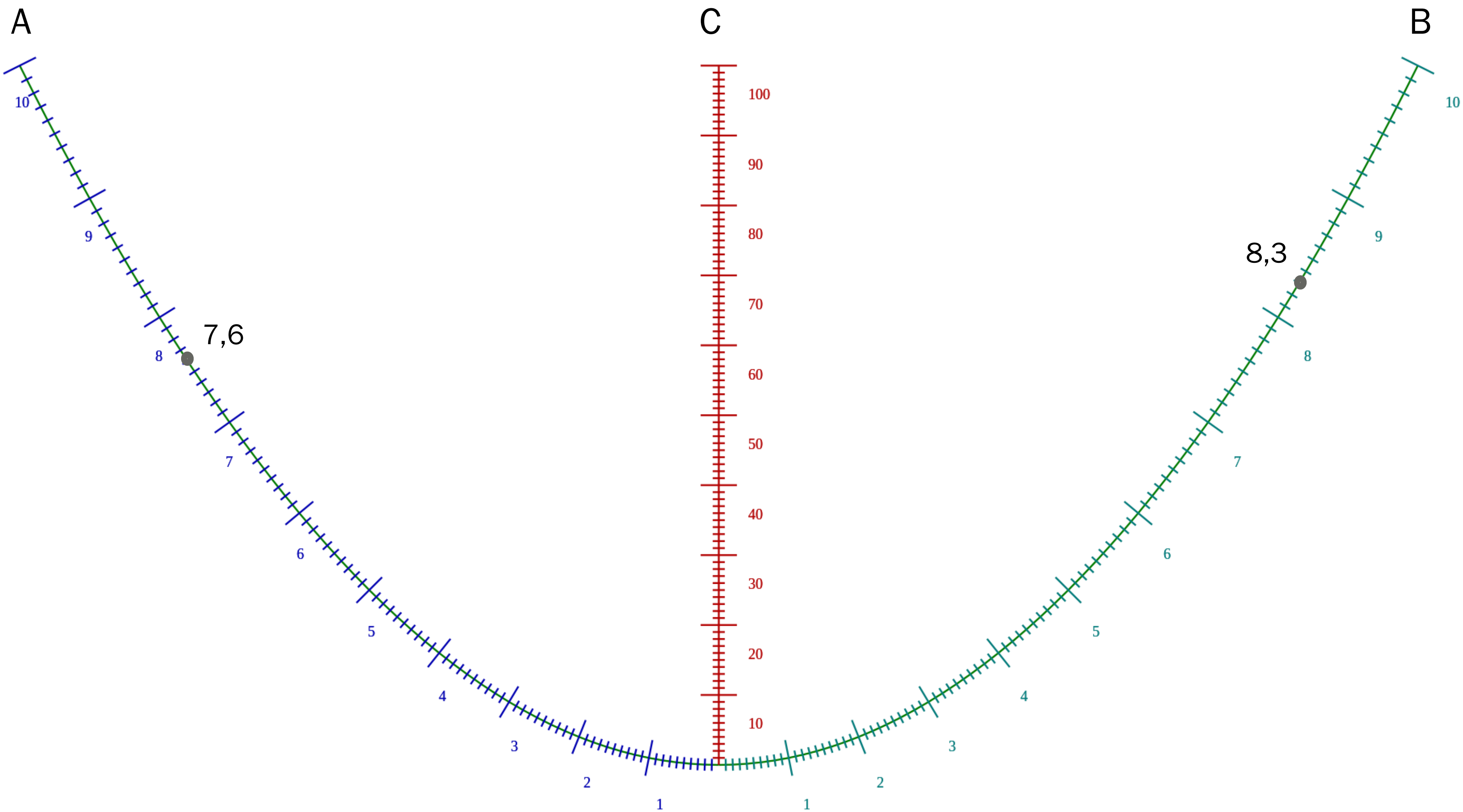
7,6 x ...



multiplication: C= A x B

Nomogramme à points alignés

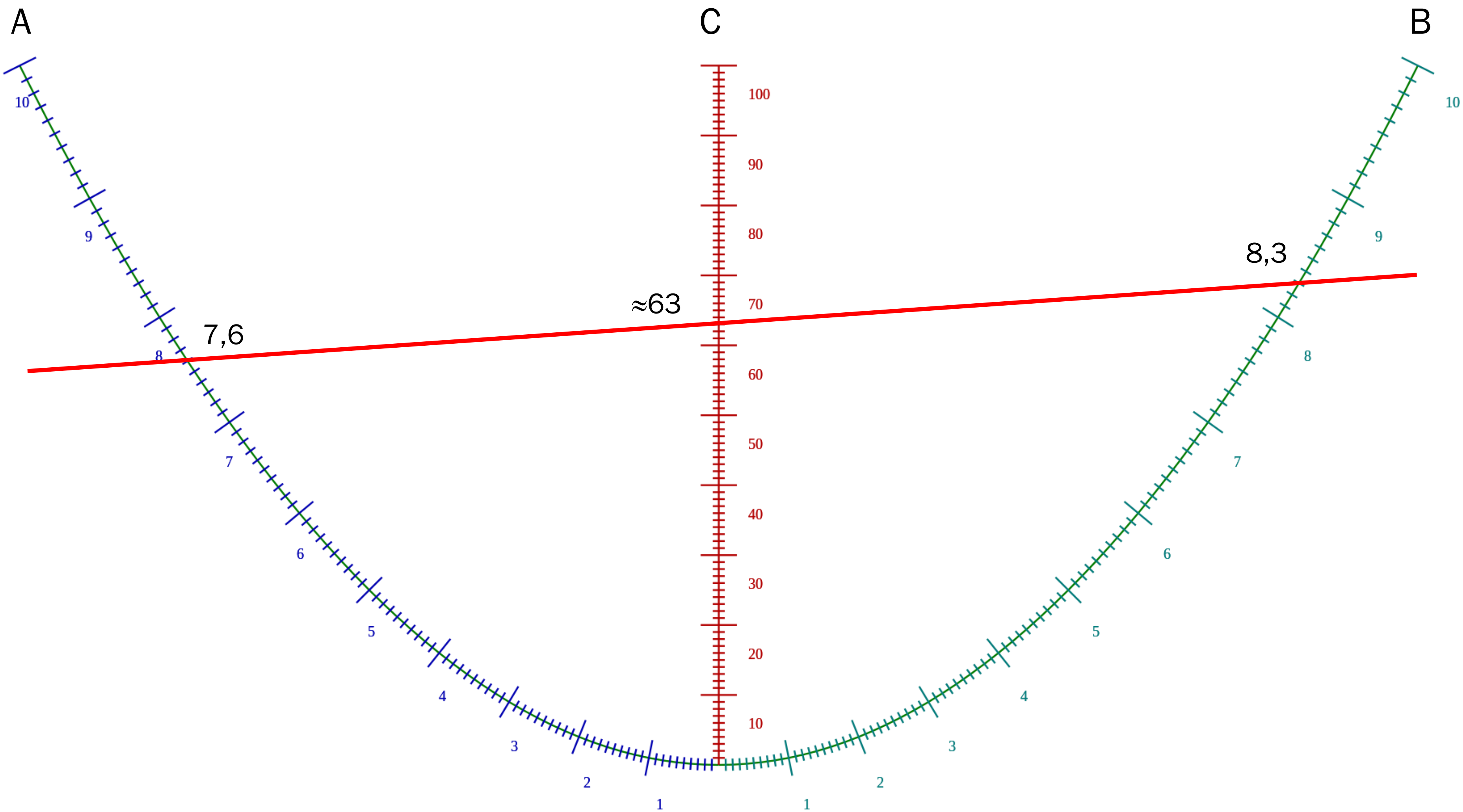
7,6 x 8,3=...



multiplication: C= A x B

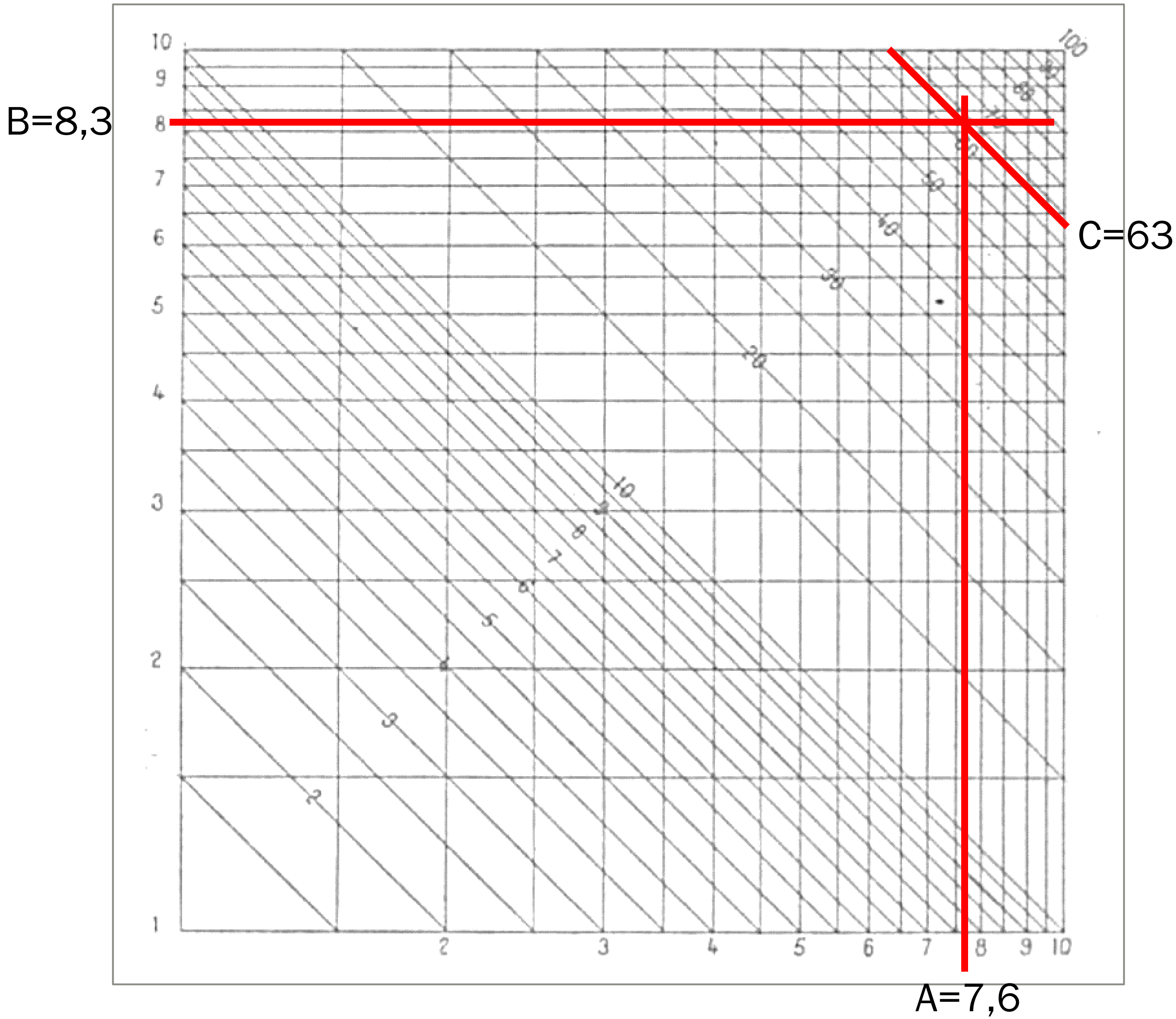
Nomogramme à points alignés

7,6 x 8,3=63,08

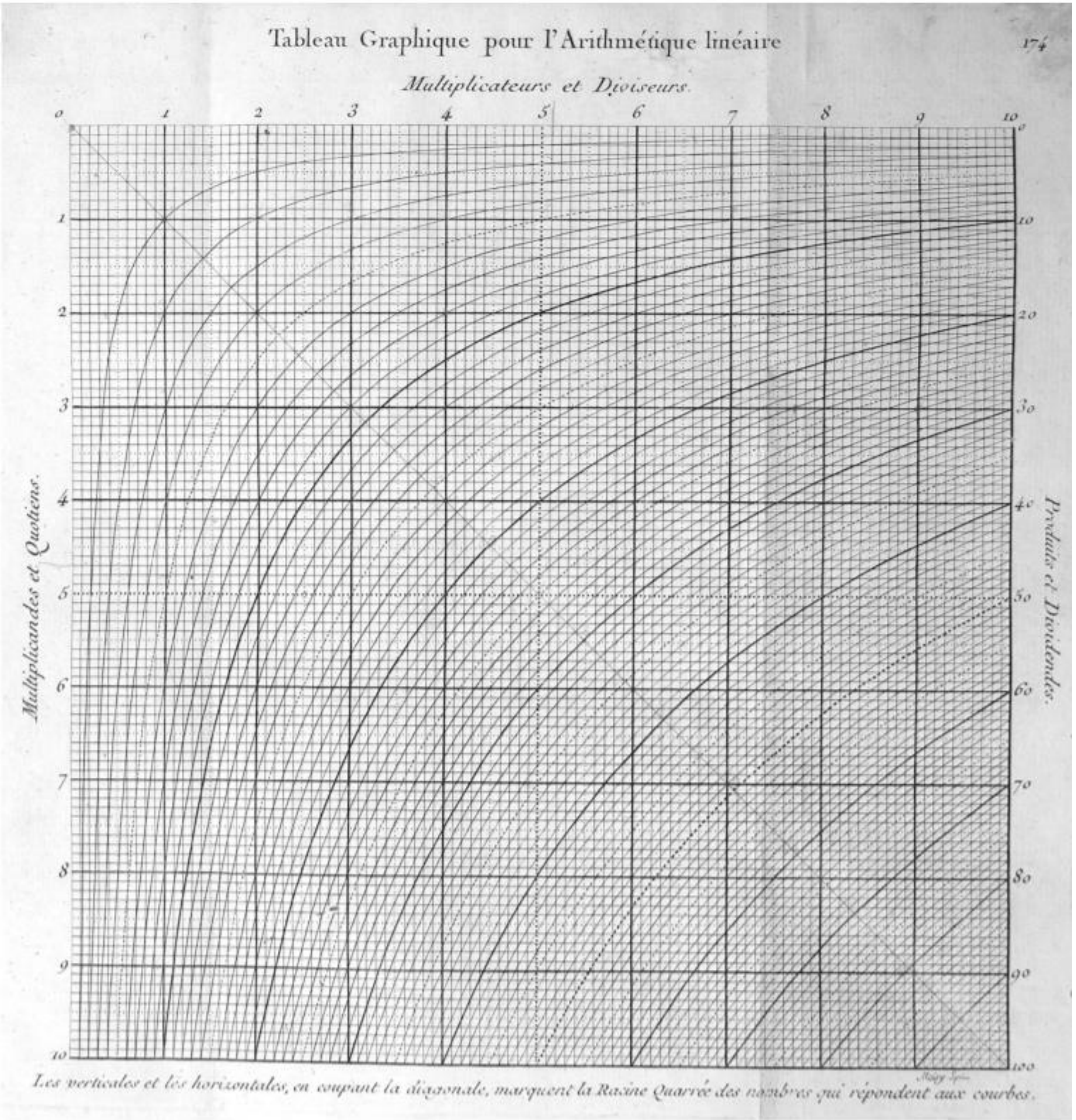


multiplication: C= A x B

Abaque anamorphosé



1795-Louis Ézechiel Pouchet



1843-Compteur universel de Léon Lalanne

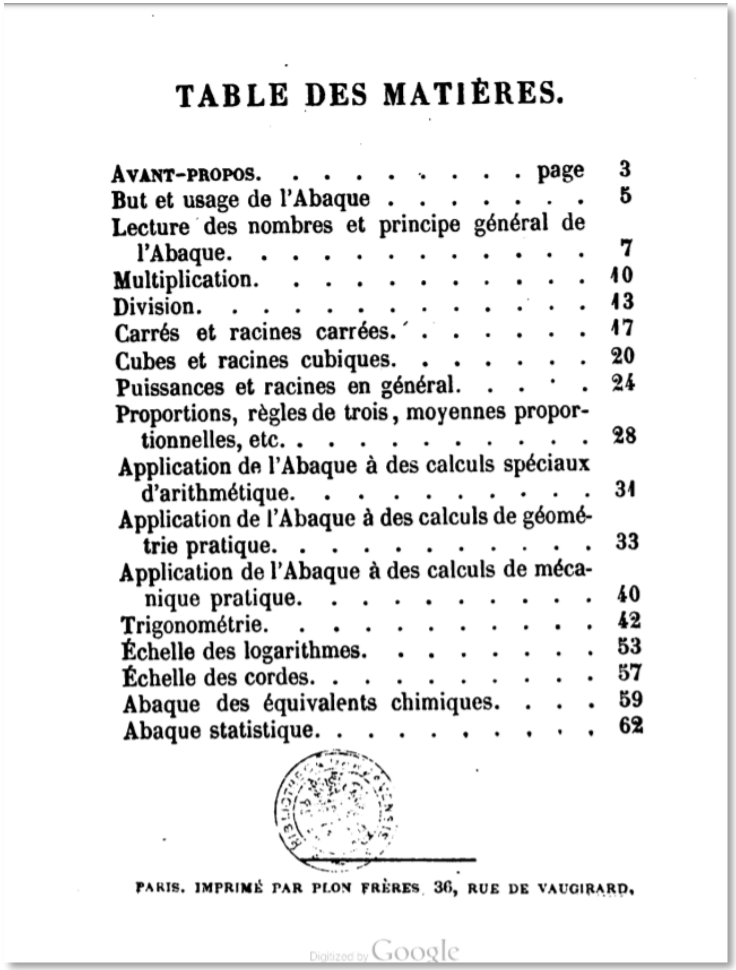
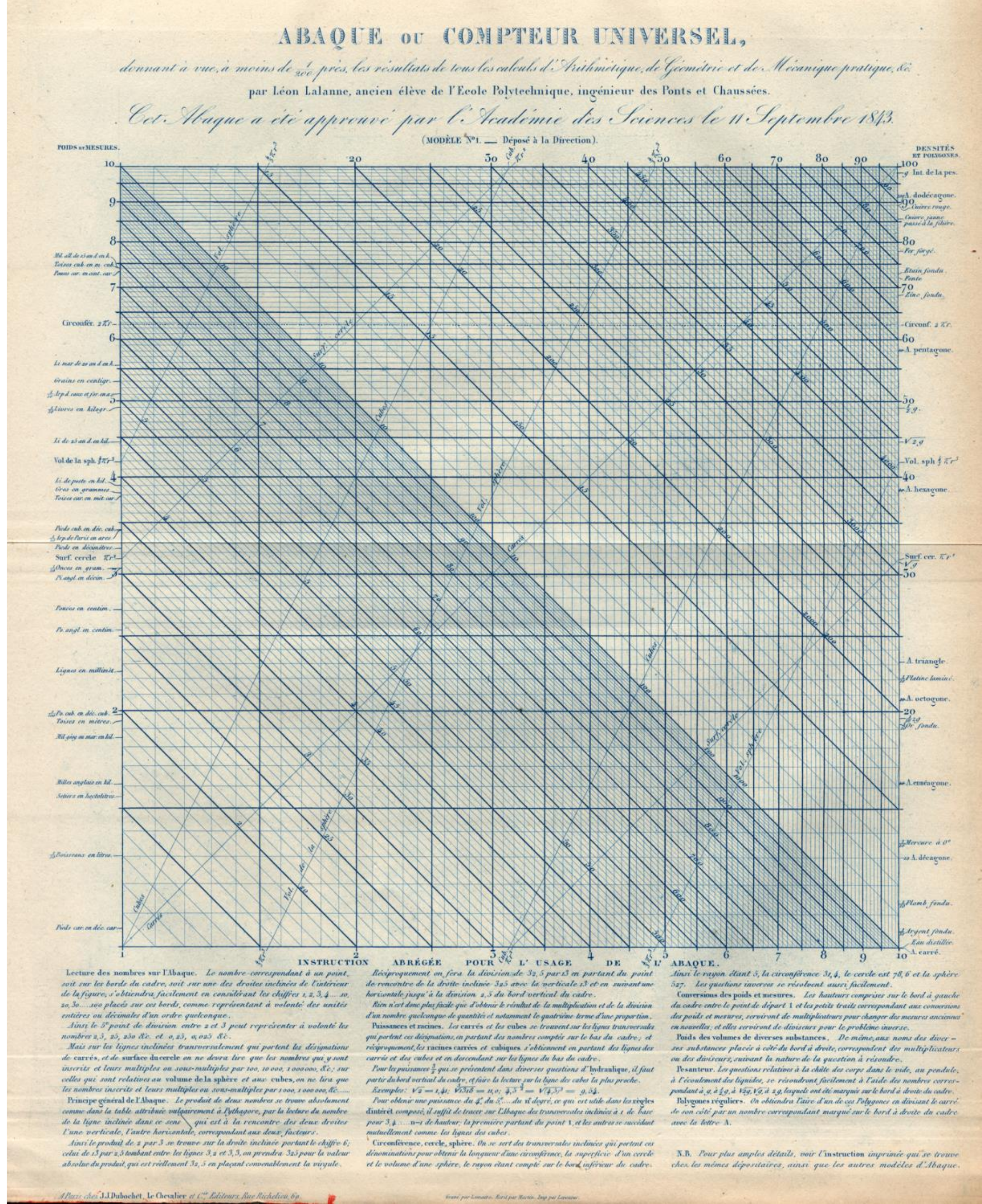


TABLE DES MATIÈRES.

PARIS. IMPRIMÉ PAR PLON FRÈRES, 36, RUE DE VAUGIRARD.



Un **nomogramme** est un outil graphique de calcul constitué de courbes graduées entre lesquelles on place une règle.
Le résultat de l'opération se lit au croisement de la règle et de l'une des courbes.
Le terme a été créé par Maurice d'Ocagne qui fut au début du xx^{e} siècle le principal promoteur de cette technique .
La nomographie est l'art de créer des nomogrammes.
Cette science du calcul graphique eut un vif succès durant toute la première moitié du XXième siècle et fut un sujet d’étude pour de nombreux ingénieurs

Léon Lalanne
1811-1892

Maurice d’Ocagne
1862 -1938

Rodolphe Soreau
1865-1935

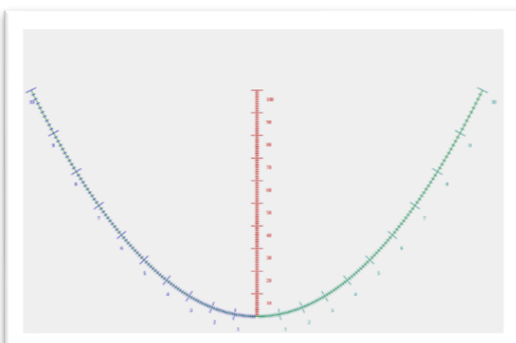
Le nomogramme était une bonne alternative à la règle à calcul dans tous les domaines employant de façon répétée les mêmes formules et où la précision du calcul n’était pas primordiale,

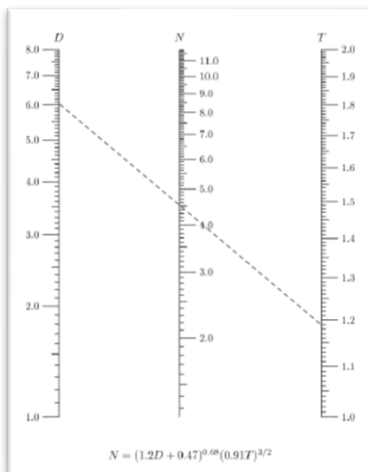
La **nomographie** désigne les méthodes qui permettent de décomposer une formule à plusieurs paramètres en différentes courbes graduées,

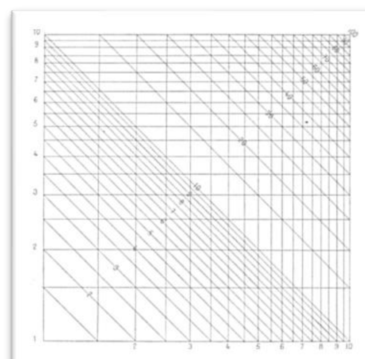
Les nomogrammes les plus courants sont:

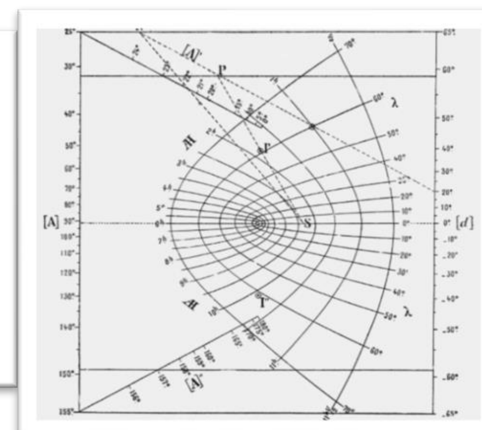
Nomogrammes à points alignés

Abaques anamorphosés



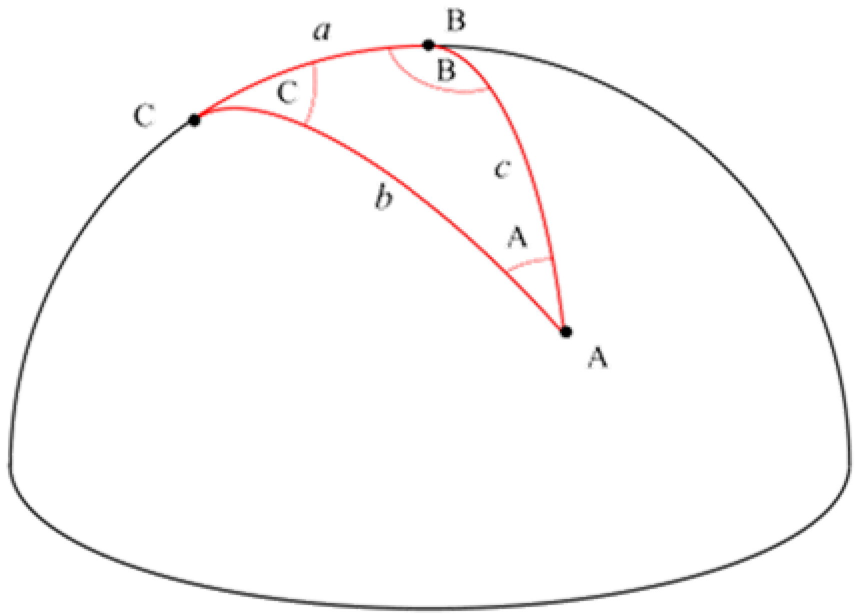






Triangle sphérique

Un triangle sphérique ABC formé par des arcs de grands cercles de la sphère possède trois angles aux sommets A, B et C et trois angles « côtés » a, b, c.
A, B et C sont les angles entre les arcs de grands cercles et a, b et c sont les longueurs angulaires des arcs de grands cercles.



Entre ces six angles, on a les relations trigonométriques suivantes :

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$
$$\cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B$$
$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

$$\cot a \sin b = \cos b \cos C + \sin c \cot A$$

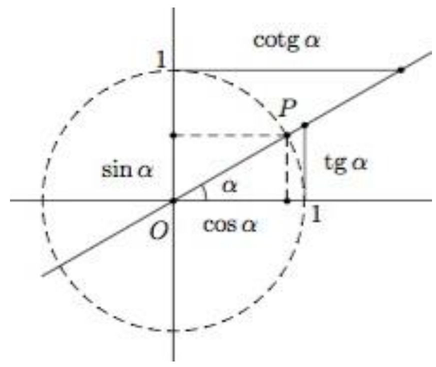
$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - a\right) \sin b = \cos b \cos C + \sin c \tan\left(\frac{\pi}{2} - A\right)$$

De plus:

$$\cot a = \tan\left(\frac{\pi}{2} - a\right)$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - a\right) = \sin a$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - a\right) = \cos a$$

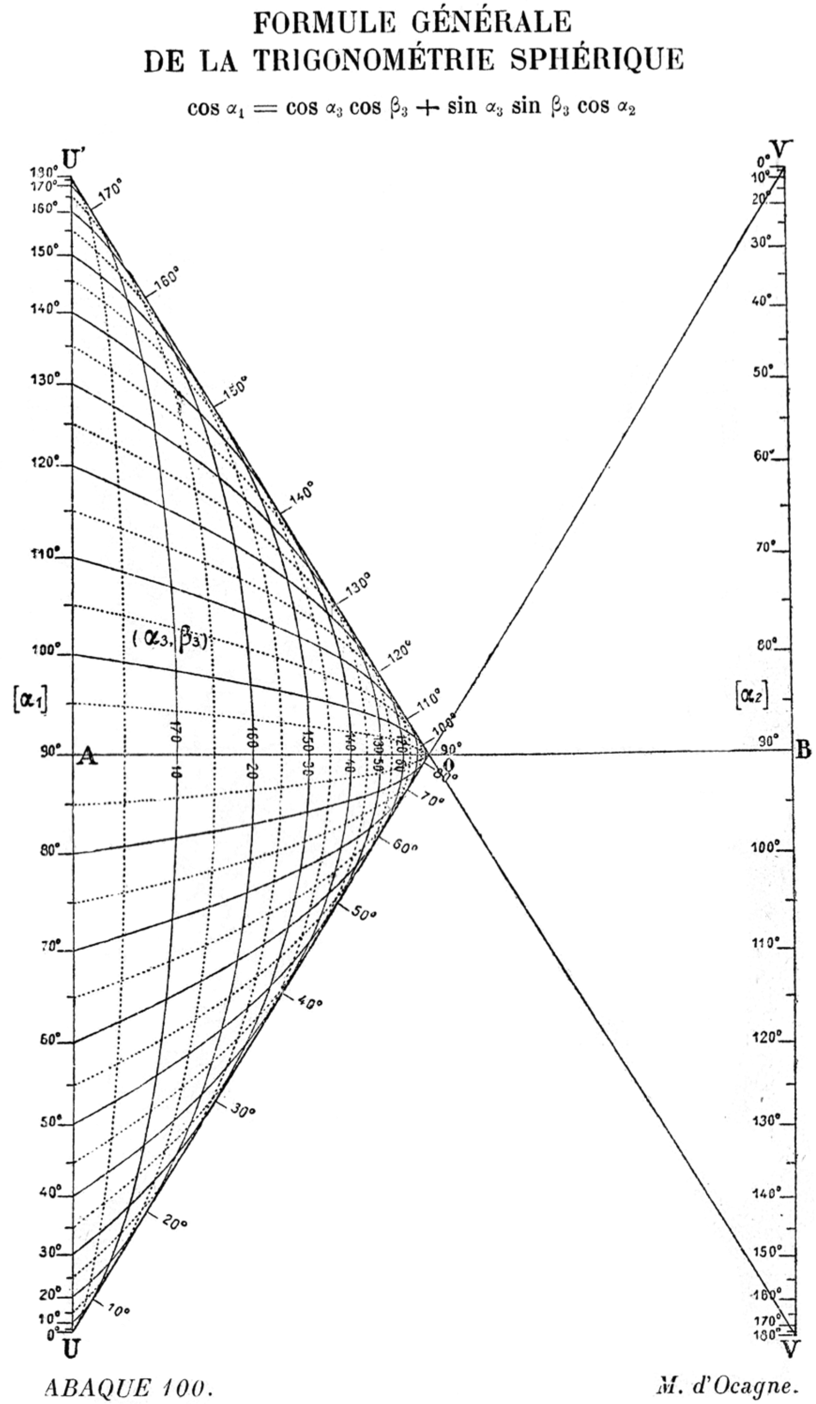


Formules 4, loi des cotangentes:

$$\begin{cases} \cot a \sin b - \cot \alpha \sin \gamma = \cos b \cos \gamma \\ \cot b \sin a - \cot \beta \sin \gamma = \cos a \cos \gamma \end{cases}$$
$$\begin{cases} \cot b \sin c - \cot \beta \sin \alpha = \cos c \cos \alpha \\ \cot c \sin b - \cot \gamma \sin \alpha = \cos b \cos \alpha \end{cases}$$
$$\begin{cases} \cot c \sin a - \cot \gamma \sin \beta = \cos a \cos \beta \\ \cot a \sin c - \cot \alpha \sin \beta = \cos c \cos \beta \end{cases}$$

Dans son « Traité de nomographie »
Maurice d'Ocagne présente également un nomogramme permettant de résoudre tous les problèmes faisant intervenir la formule générale de la trigonométrie sphérique:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$
$$\cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B$$
$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$



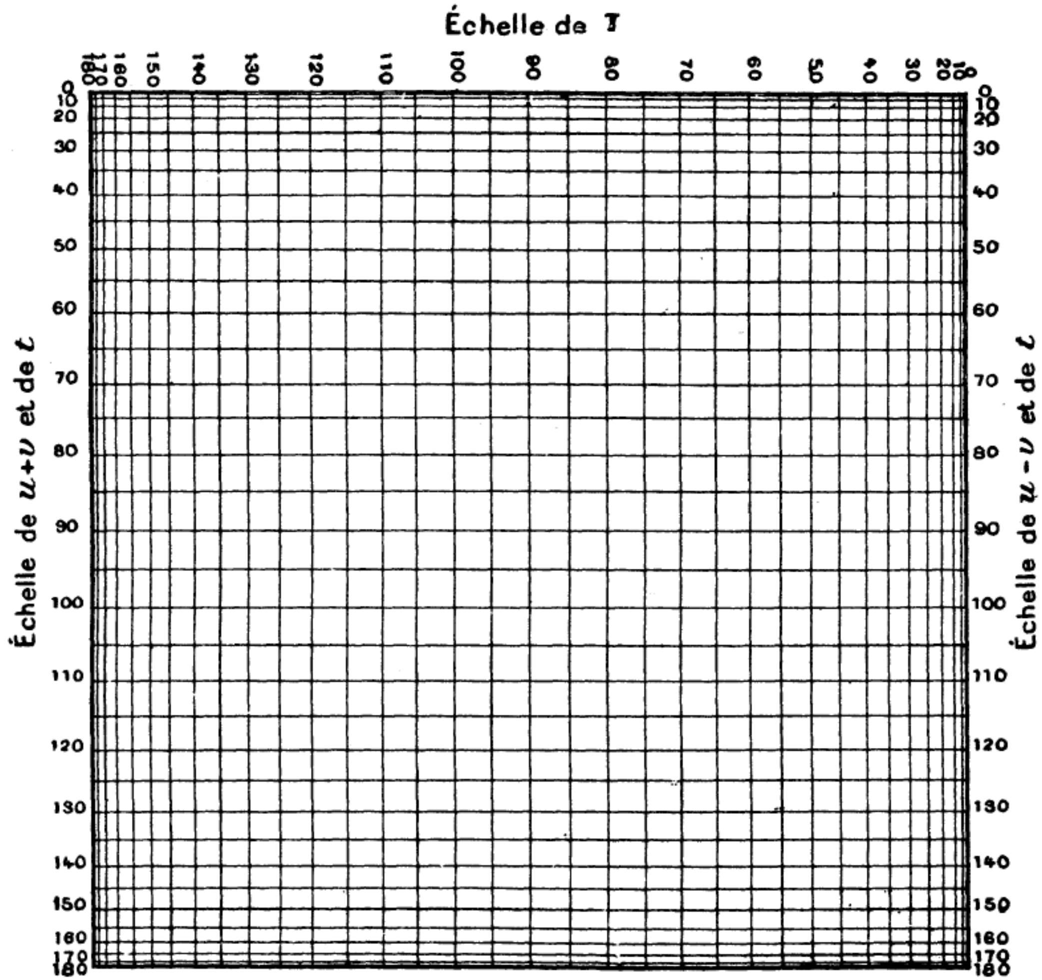
Sur la résolution nomographique générale des triangles sphériques

Tous les cas de résolution des triangles sphériques (désignés par ABC) peuvent se
ramener à l'usage de la formule unique:

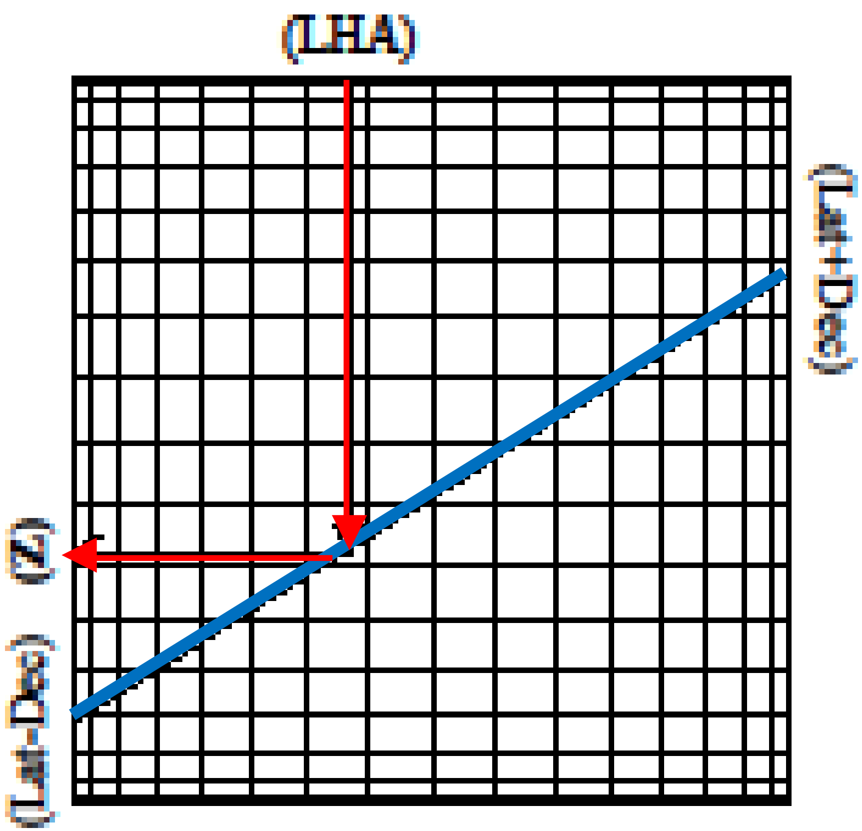
$$\cos t = \cos u \cos v + \sin u \sin v \cos T$$

où *t, u, v* sont remplacés soit par les diverses permutations de a, b, *c* (T prenant l'une des valeurs A, B, C),
soit par les diverses permutations de π - A, π - B, π - C
(T prenant l'une des valeurs π - a, π - b, π - c).

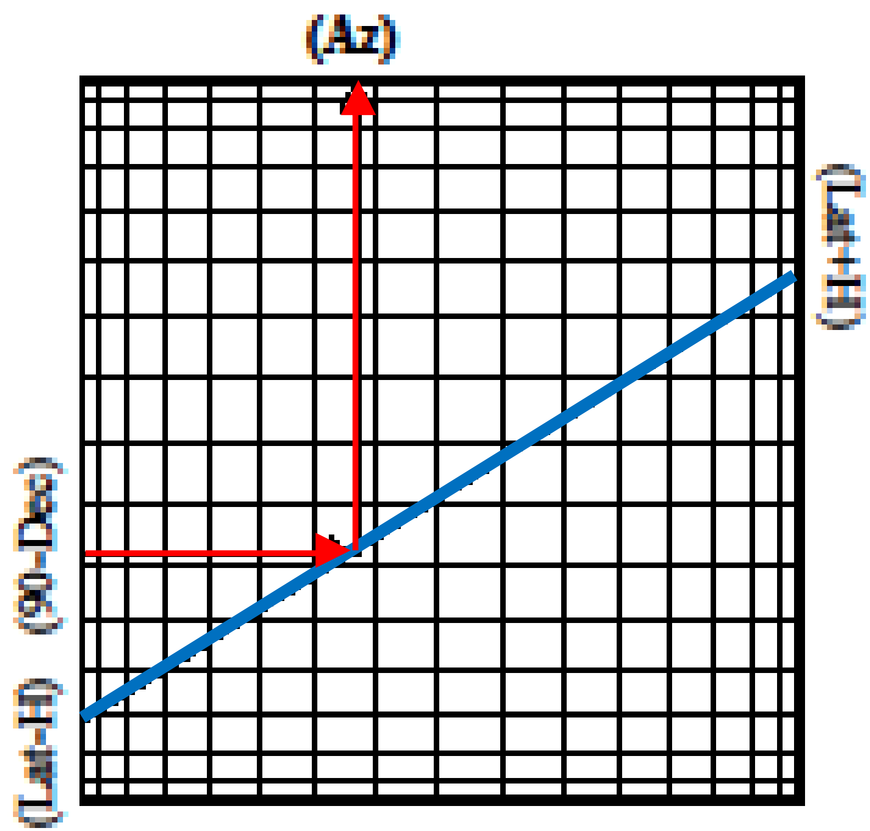
Maurice d'Ocagne
1862-1938



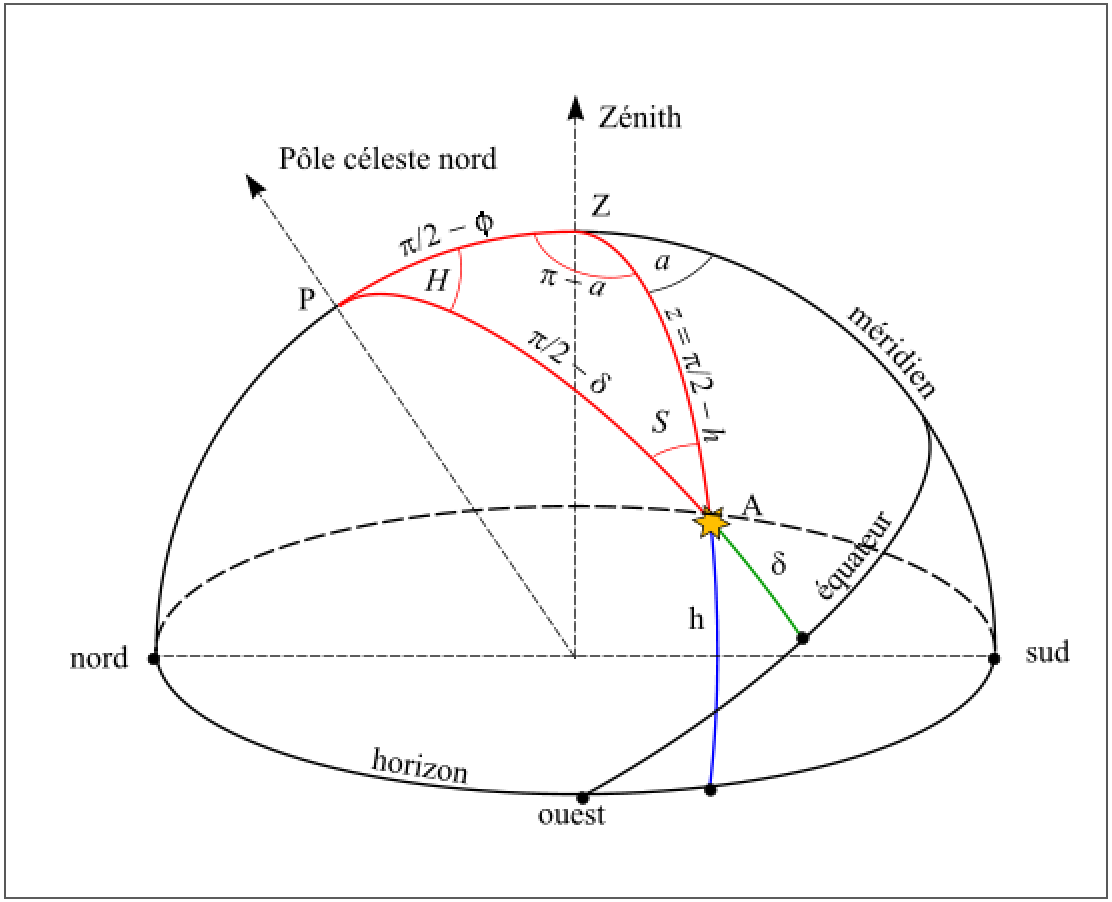
(Lat,Dec,LHA) -> Z



(Lat,Dec,H) -> Az



Triangle astronomique



a=	azimut
δ=	déclinaison
h=	hauteur de l'astre
H=	angle horaire
ϕ=	latitude
S=	angle à l'astre
z=	distance zénithale

Formulles usuelles

- f(ϕ,δ,h,H)=0

$$\boxed{\sin h = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos H}$$

Au lever et au coucher du Soleil $h = 0$ donc $\sin h = 0$ d'où:

$$\boxed{\cos H = -\tan\phi\cdot\tan\delta}$$

- f(ϕ,δ,H,a)=0

$$\sin\phi\cot\delta + \sin H\cot a - \sin\phi\cos H = 0$$

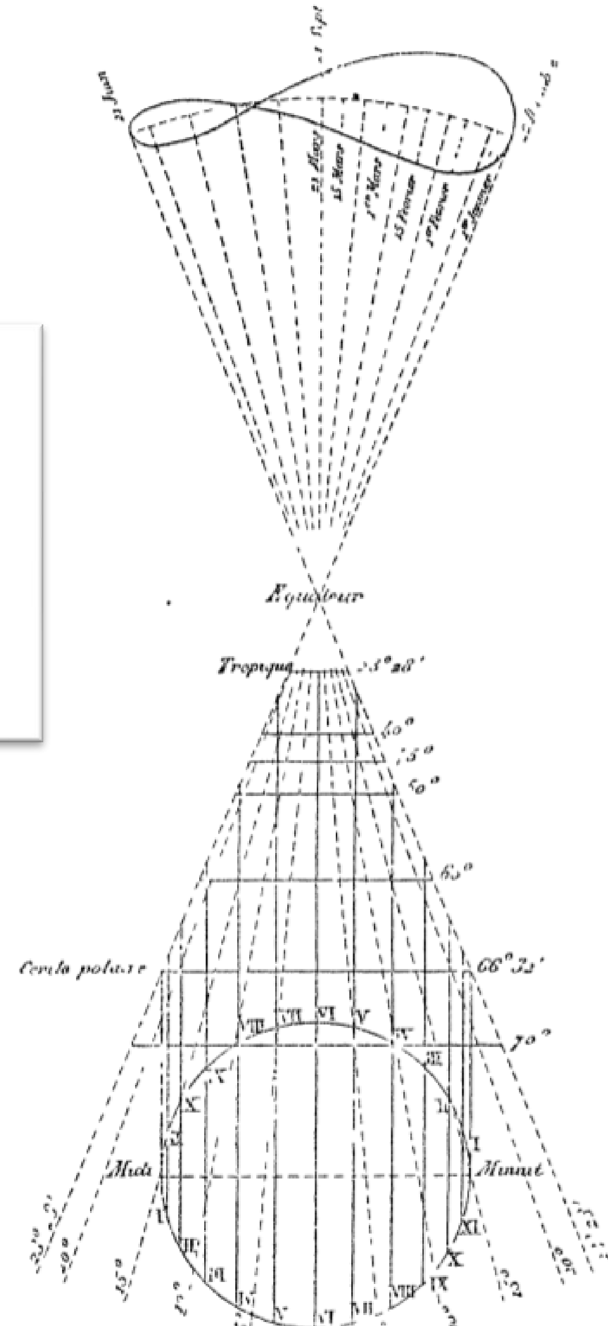
$$\boxed{\tan a = \frac{\sin H}{\sin\phi\cos H - \tan\delta\cos\phi}}$$

Edouard Collignon écrit en 1879 une « note sur la résolution, au moyen de tableaux graphiques, de certains problèmes de cosmographie et de trigonométrie sphérique »


Par M. E. COLLIGNON,

I.

Collignon présente sous la forme d'un graphique, le calcul des heures de lever et de coucher Soleil en fonction de la latitude et de la déclinaison,



Abaque des heures de lever et de coucher de Soleil

Dans son « Traité de nomographie » publié en 1899 **Maurice d'Ocagne** reprend le sujet et le résout d'une façon plus simple,

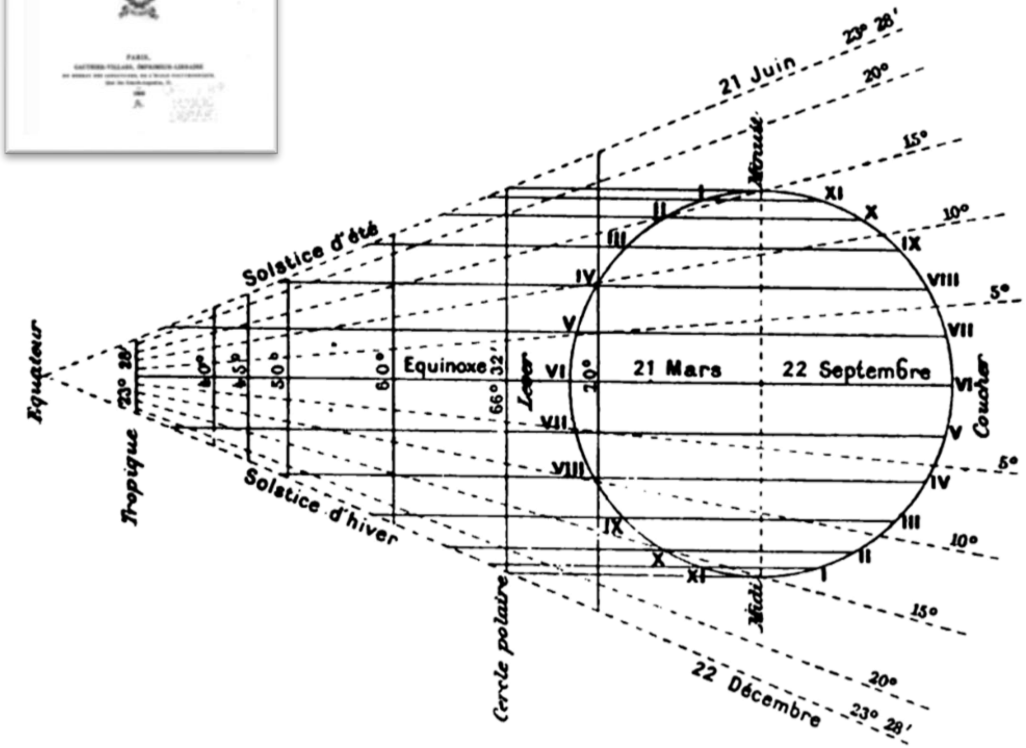

TRAITÉ
NOMOGRAPHIE
PARIS

L'angle horaire du soleil au moment de son lever et de son coucher est donné par:

$$\cos H = -\tan\phi \cdot \tan\delta$$

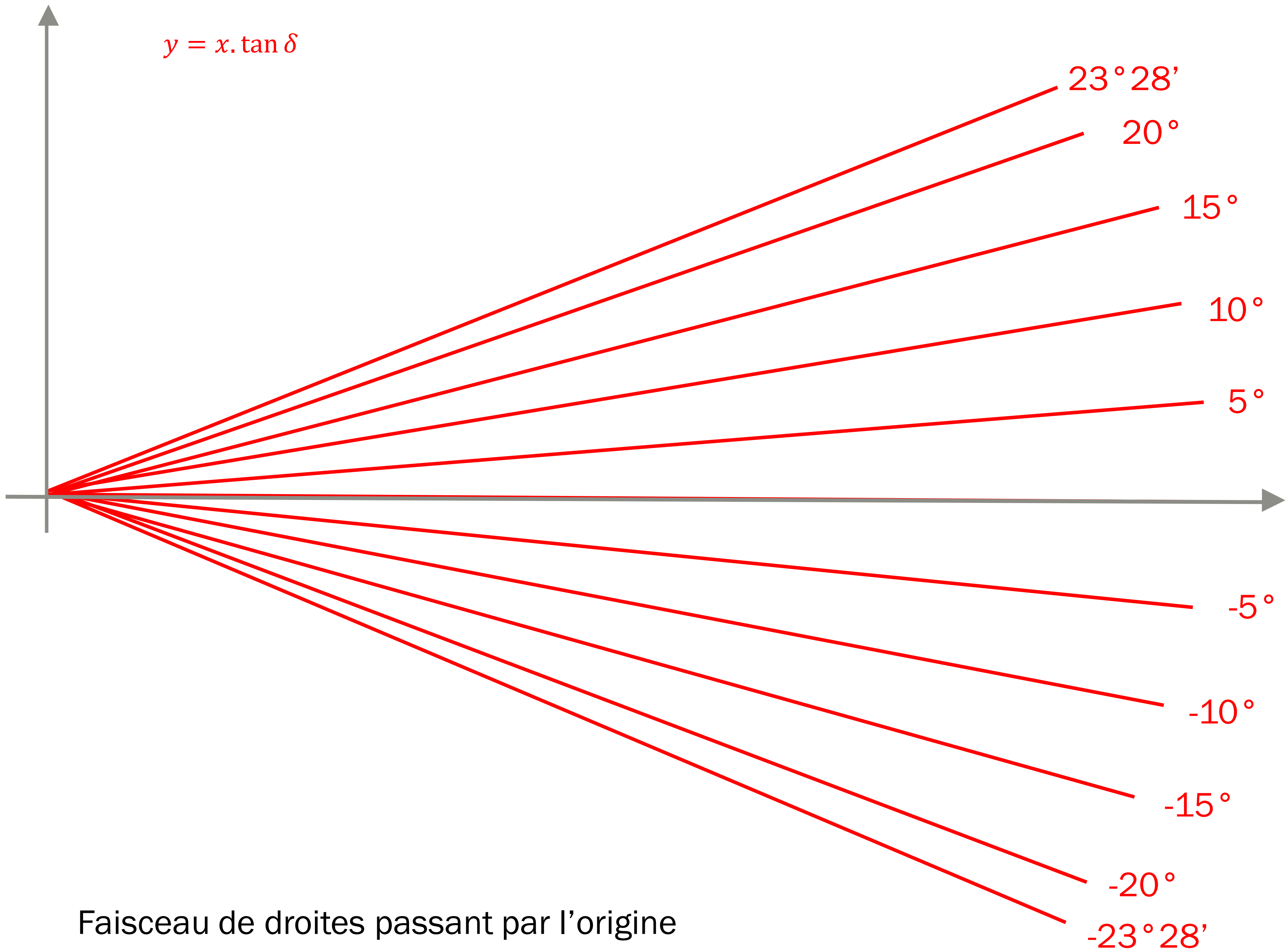
Cet abaque se trace en décomposant cette formule en 3 courbes distinctes:

$y = -\cos H$	Cercle horaire
$x = \tan\phi$	Droites parallèles à y
$y = x.\tan\delta$	Faisceau de droites passant par l'origine

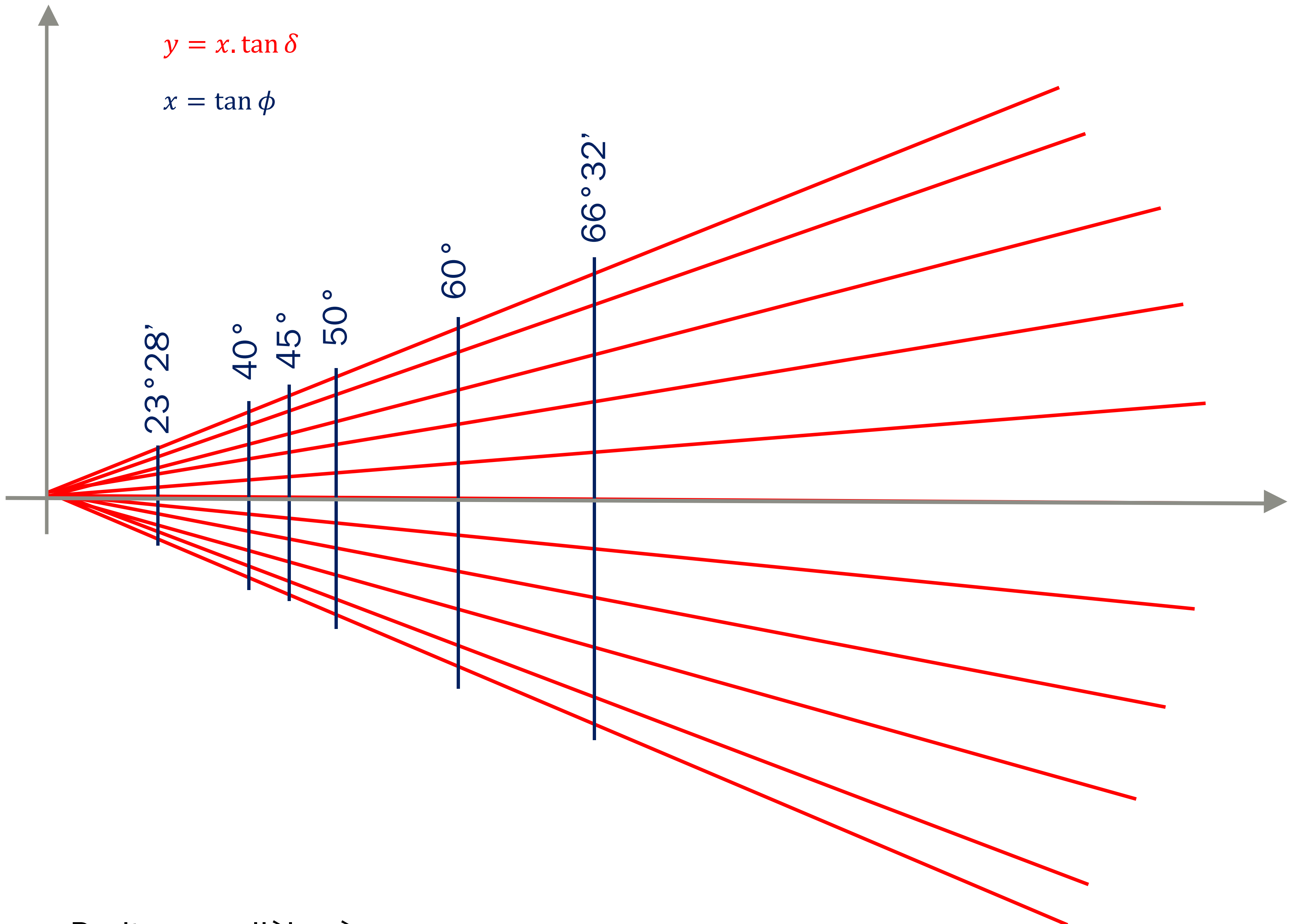


Cet abaque des heures de lever et de coucher de Soleil est une application de la nomographie à la trigonométrie sphérique souvent utilisée en gnomonique,

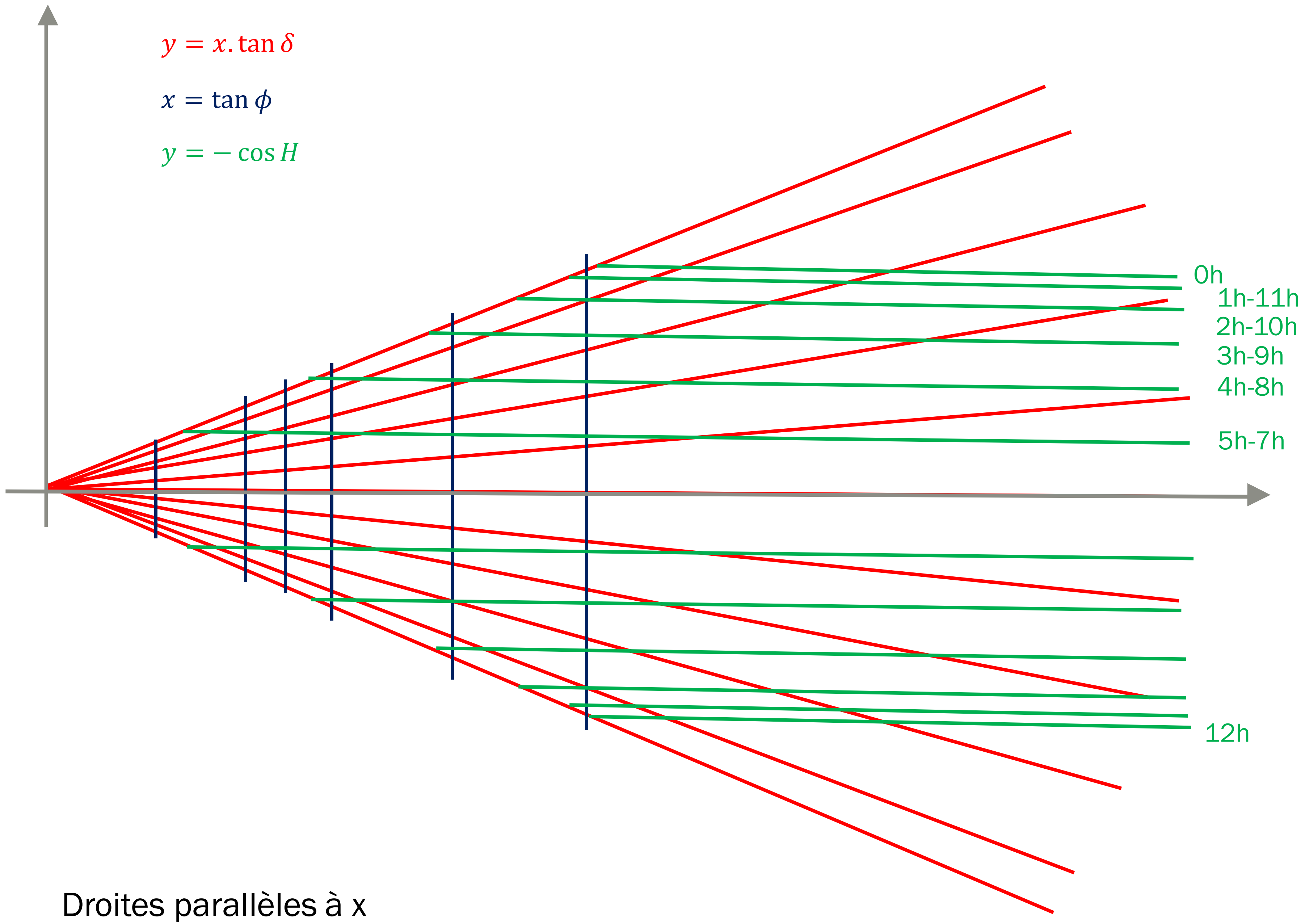

y
x



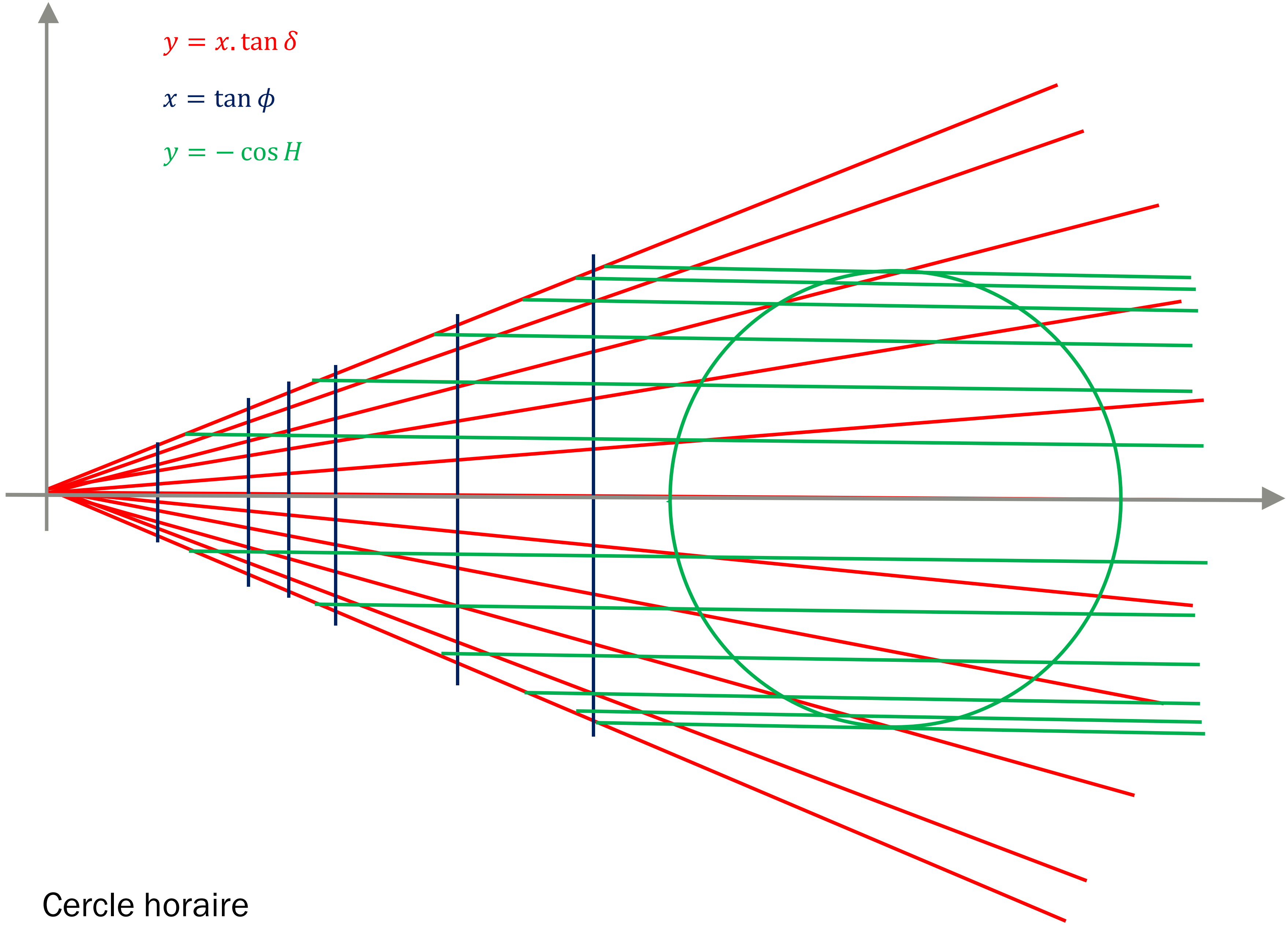
Faisceau de droites passant par l'origine



Droites parallèles à y

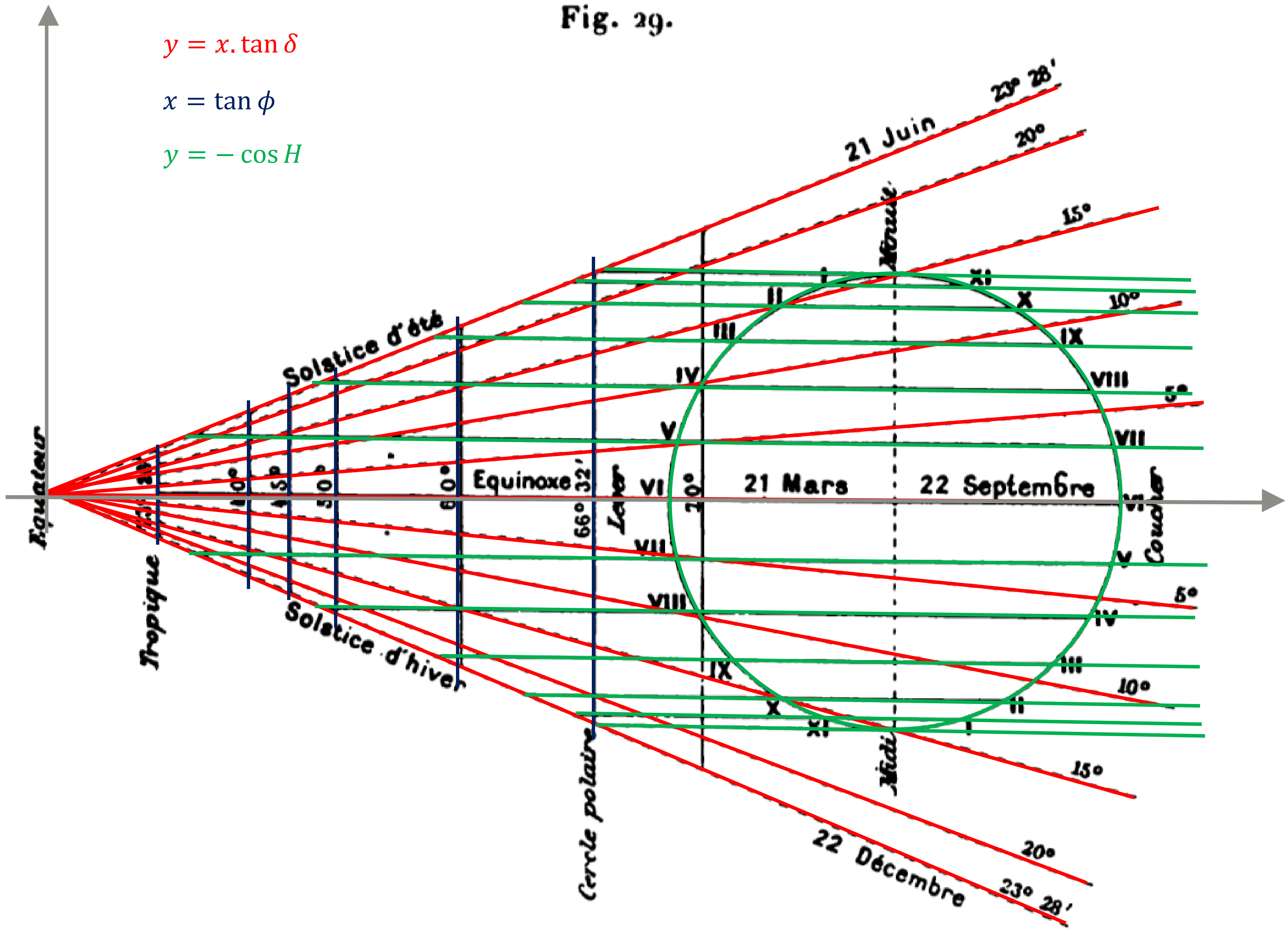


Droites parallèles à x



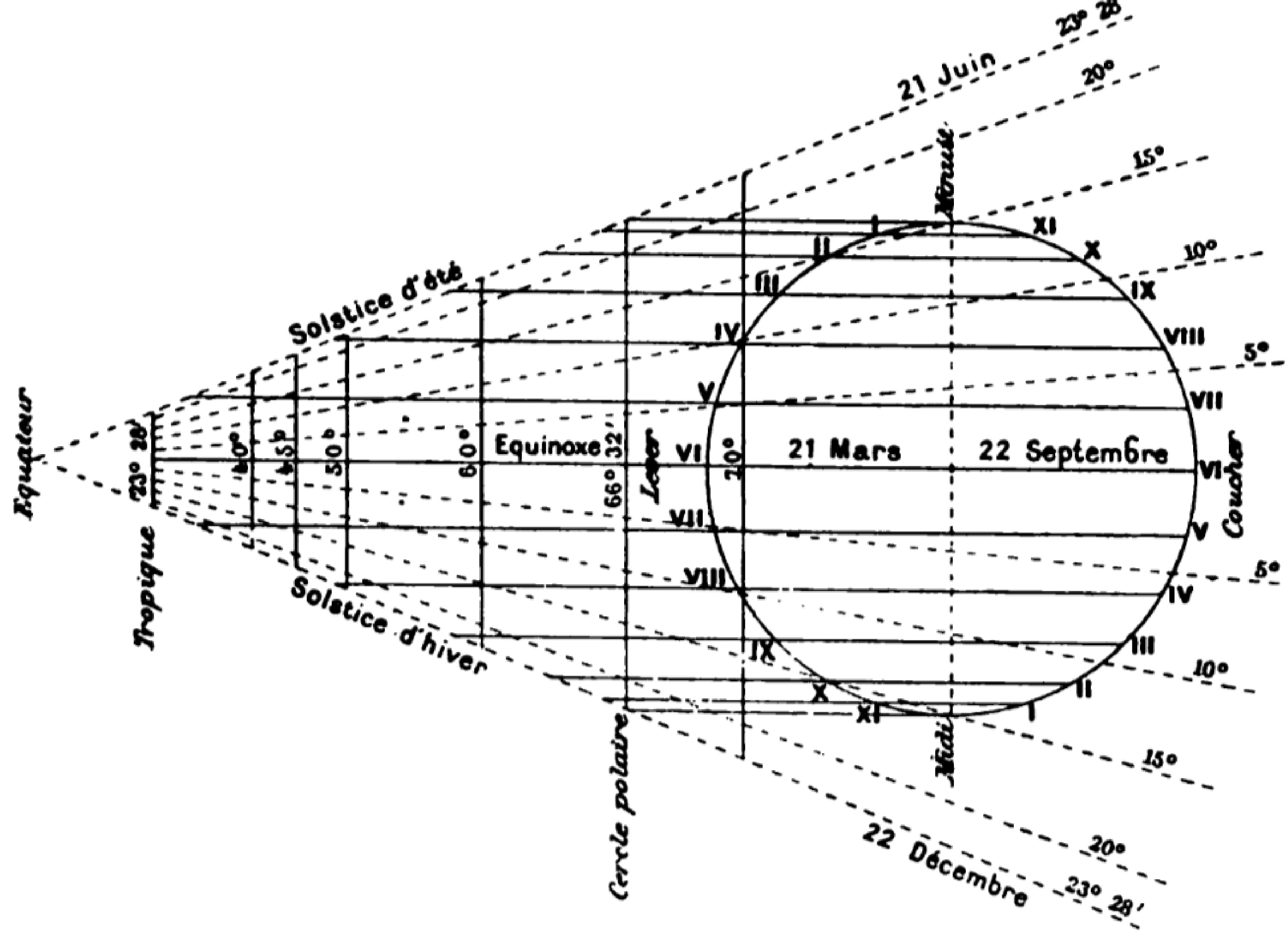
Cercle horaire

Fig. 29.

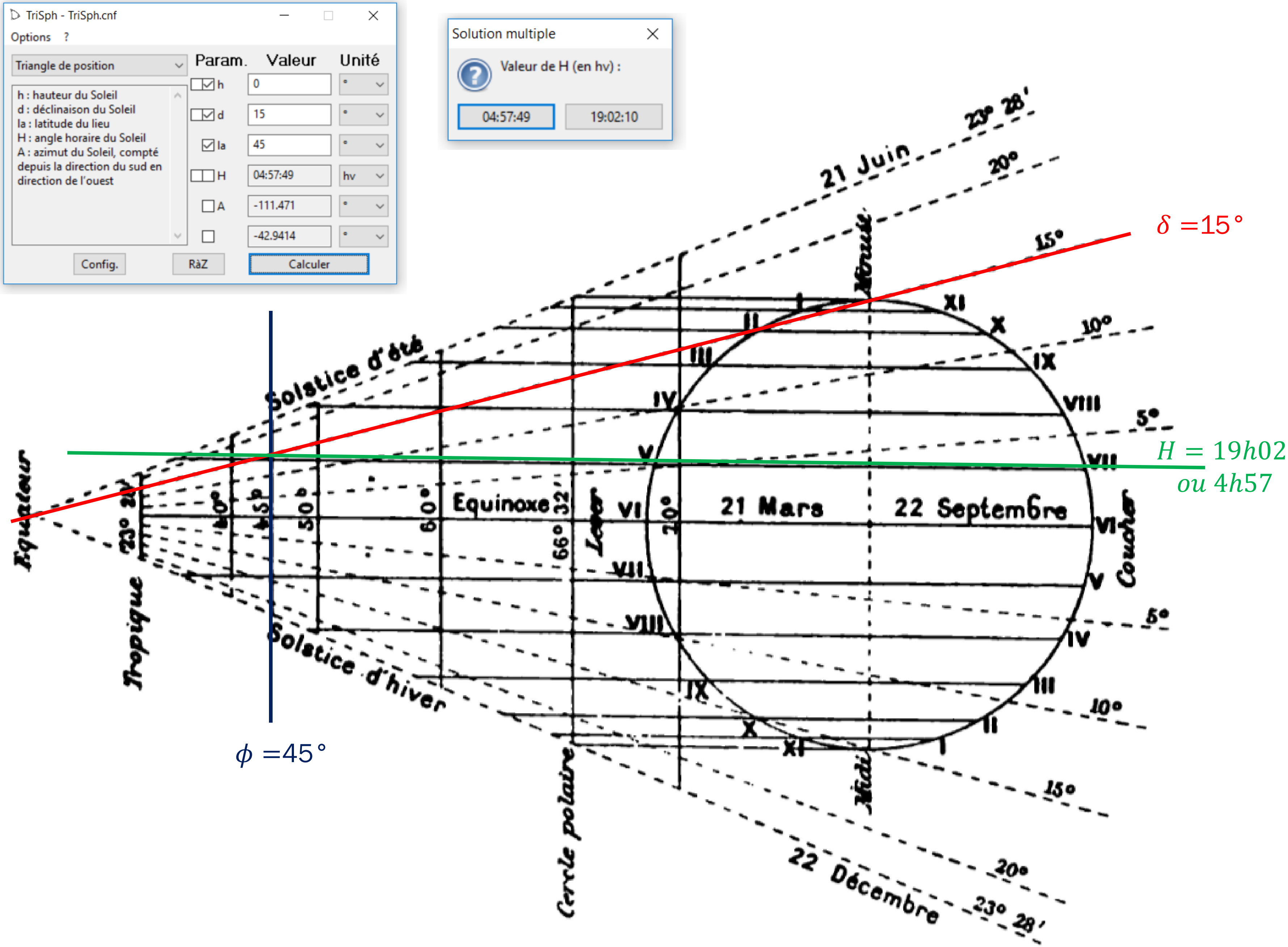


$y = x.\tan\delta$
$x = \tan\phi$
$y = -\cos H$
21 Juin
23° 28'
20°
15°
10°
5°
Minuit
Solstice d'été
Equinoxe
21 Mars
22 Septembre
Equateur
Tropique
Solstice d'hiver
Cercle polaire
66° 32'
Lever
Coucher
Midi
22 Décembre
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI

Fig. 29.



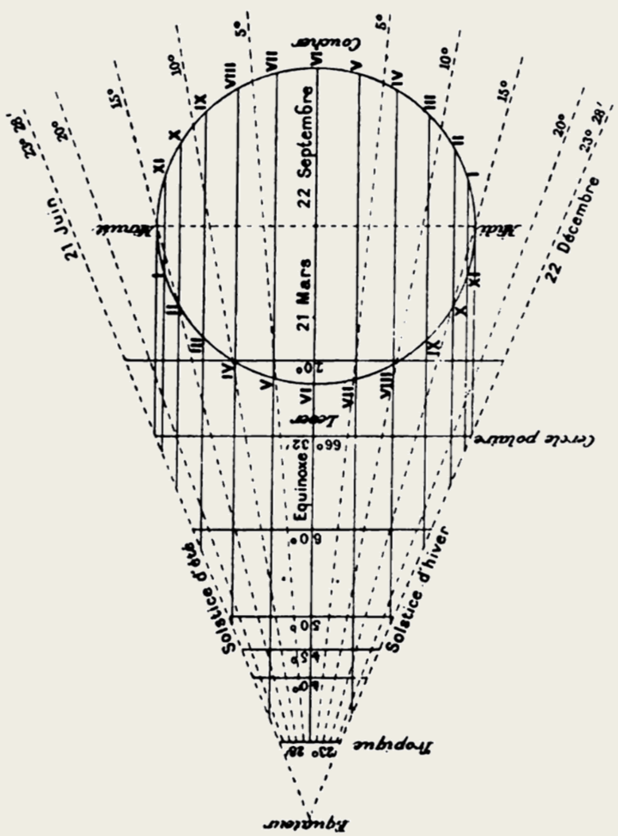
23° 28'
21 Juin
20°
15°
10°
5°
Minuit
Solstice d'été
Equateur
Tropique
23° 28'
40°
45°
50°
60°
Equinoxe
66° 32'
Cercle polaire
Lever
70°
21 Mars
22 Septembre
Coucher
Solstice d'hiver
Midi
22 Décembre
5°
10°
15°
20°
23° 28'

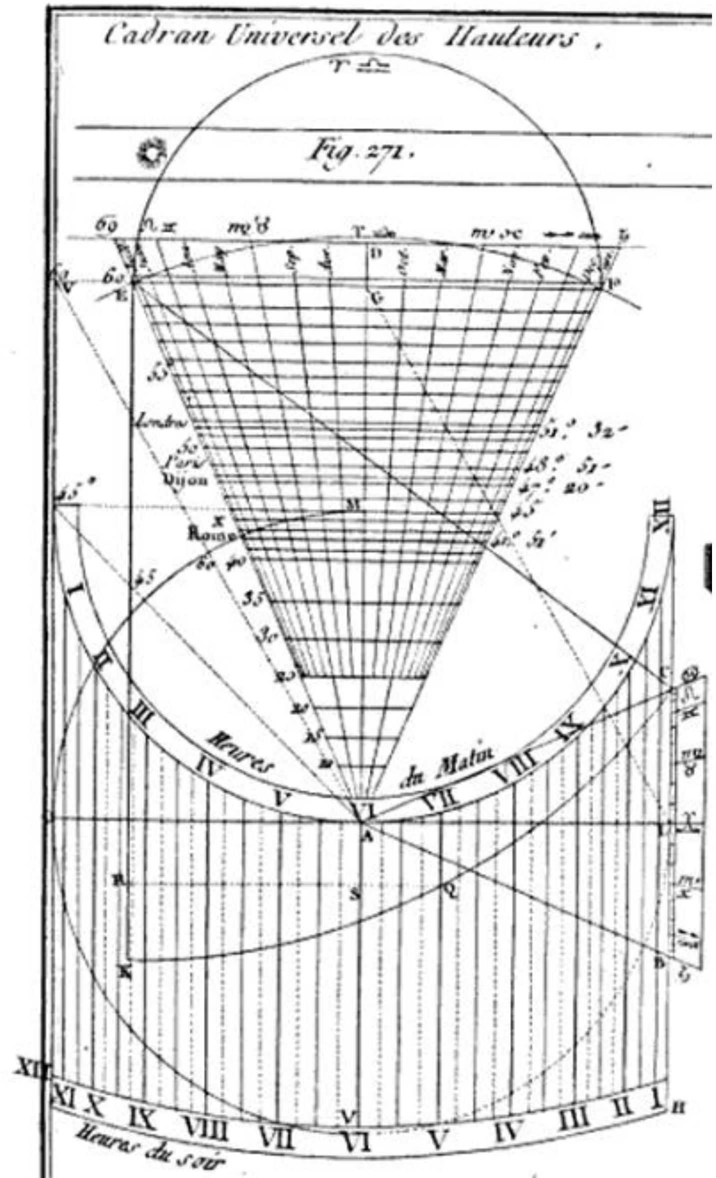


TriSph - TriSph.cnf
Options ?
Triangle de position
Param. Valeur Unité
h : hauteur du Soleil
d : déclinaison du Soleil
la : latitude du lieu
H : angle horaire du Soleil
A : azimut du Soleil, compté depuis la direction du sud en direction de l'ouest
h 0 °
d 15 °
la 45 °
H 04:57:49 hv
A -111.471 °
-42.9414 °
Config.
RàZ
Calculer
Solution multiple
Valeur de H (en hv) :
04:57:49
19:02:10
21 Juin
23° 28'
20°
15°
10°
5°
Minuit
δ =15°
Solstice d'été
Equateur
Tropique
23° 28'
40°
45°
50°
60°
Equinoxe
66° 32'
Lever
70°
21 Mars
22 Septembre
Coucher
$H = 19h02$
$ou\ 4h57$
Solstice d'hiver
Cercle polaire
Midi
22 Décembre
ϕ =45°
I II III IV V VI VII VIII IX X XI

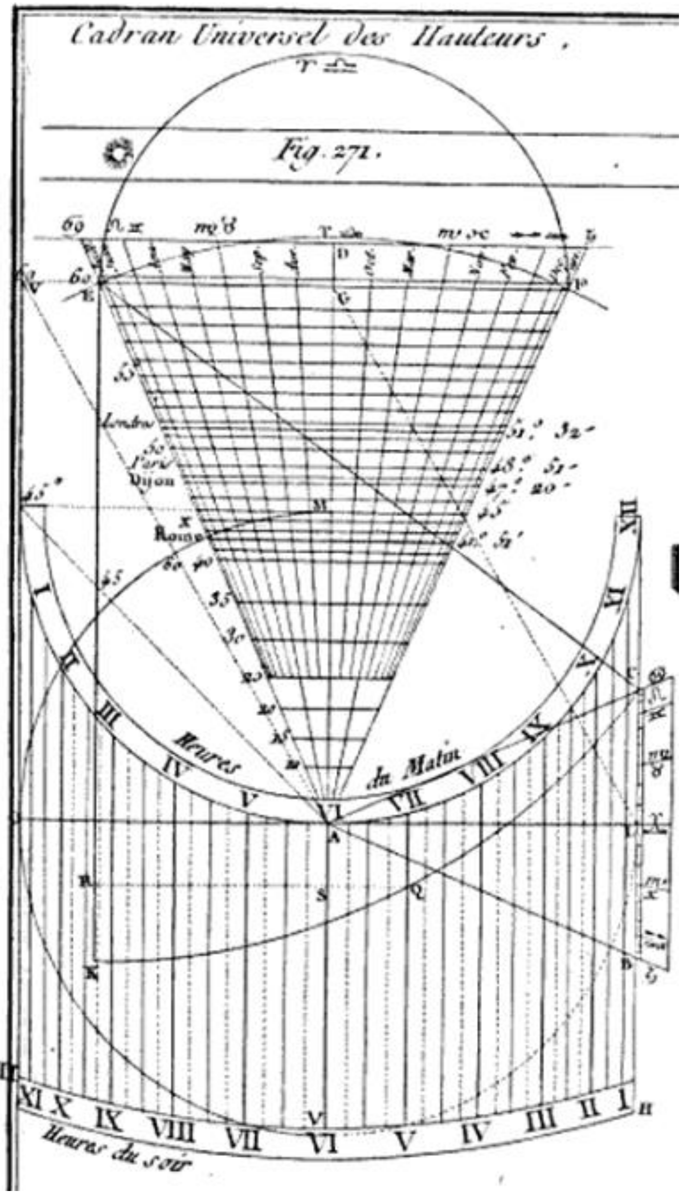
Edouard Collignon écrit

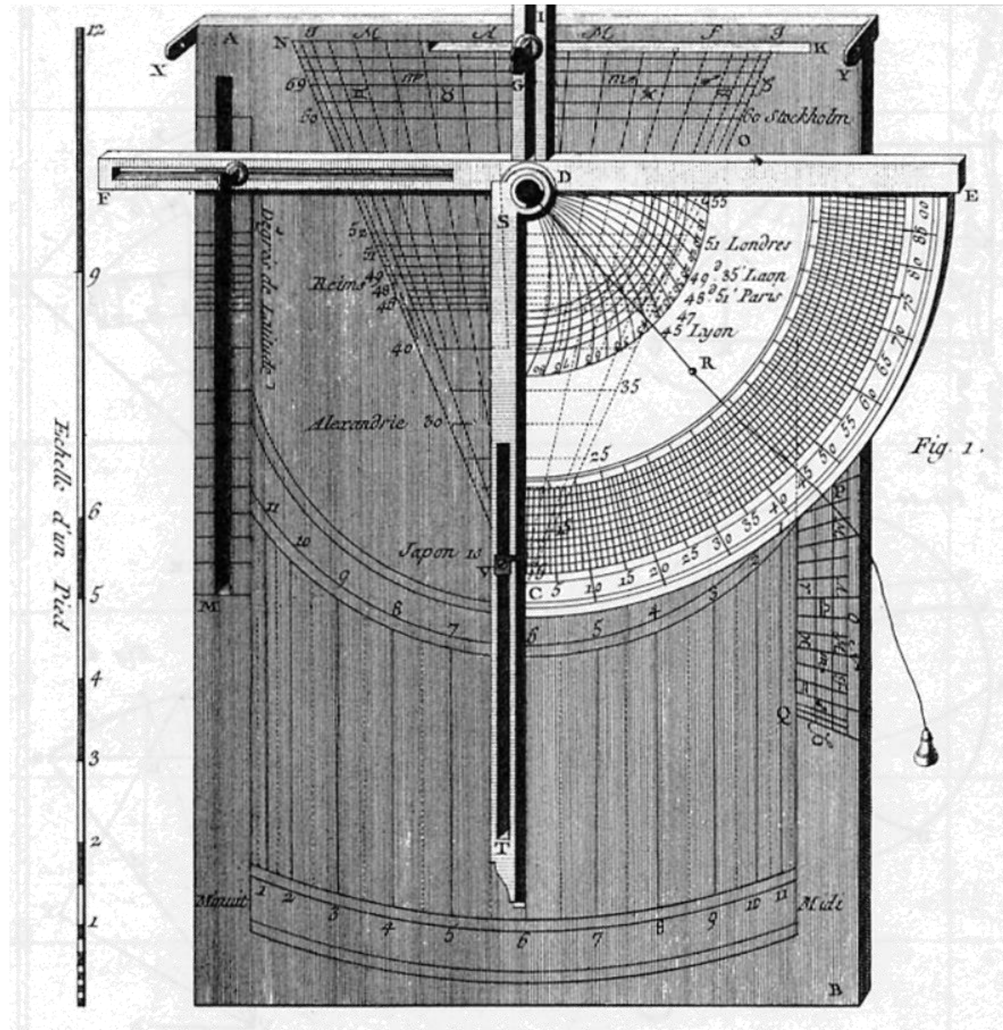
On remarquera l'analogie de notre construction avec celle du *Cadran universel des hauteurs,* décrit dans l'*Encyclopédie méthodique*.





Encyclopédie Méthodique





GNOMONIQUE.

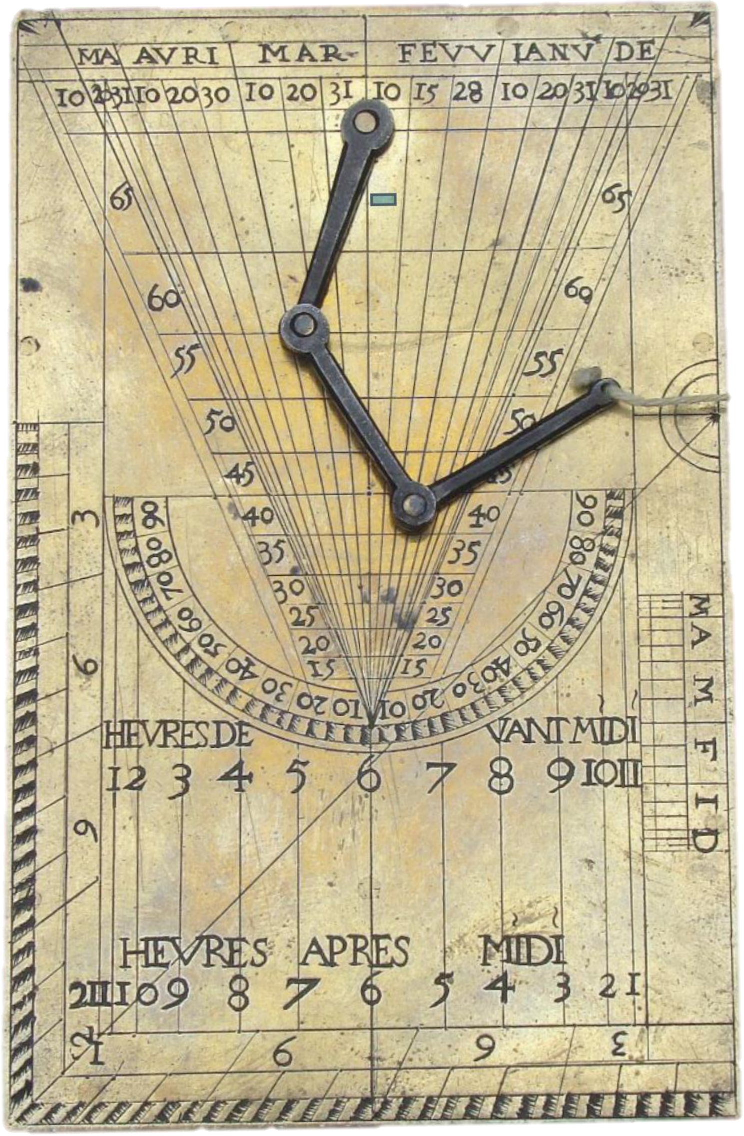
Sept Planches.

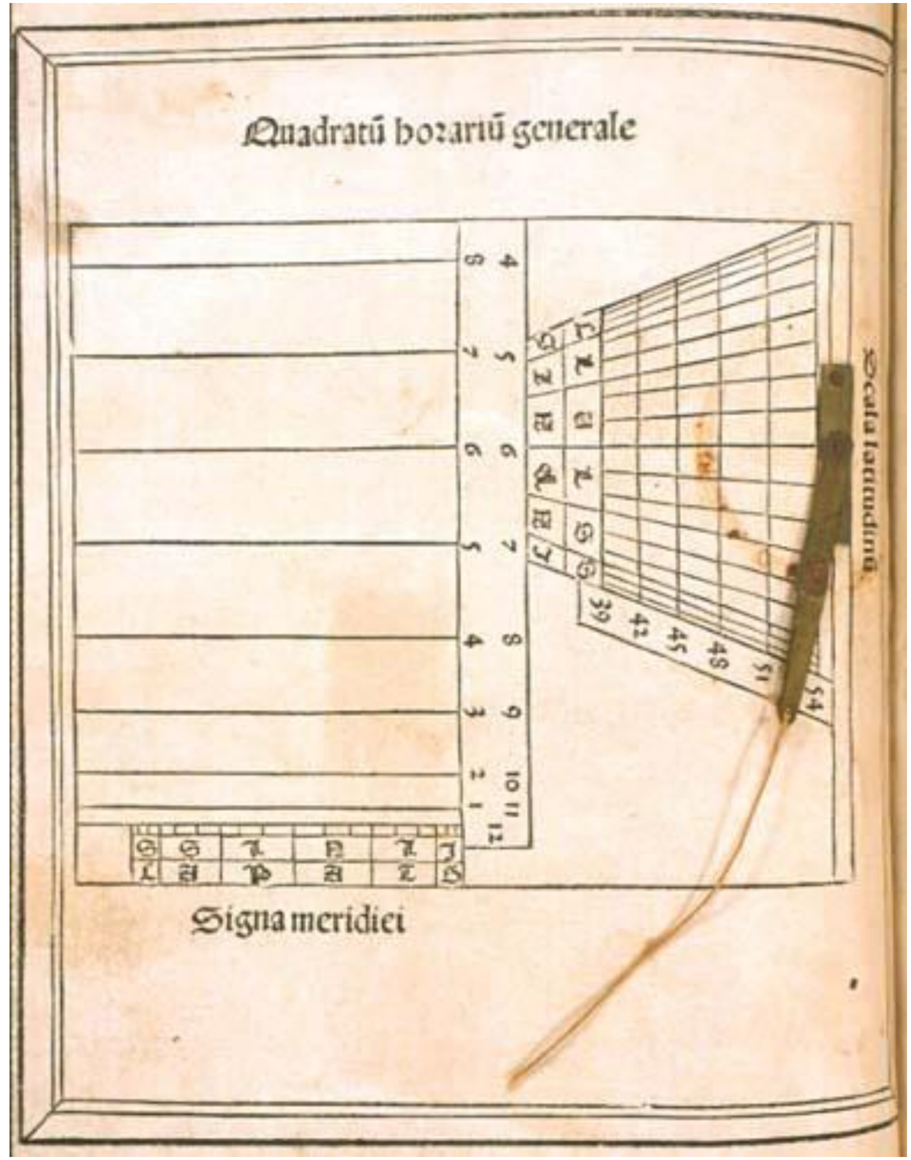
Les figures des Planches I. II. III. IV. V. & VI. sont suffisamment expliquées dans les articles auxquels elles se rapportent.

PLANCHE VII.

Fig. 1. Instrument qui montre les heures du jour, & l'élévation du soleil au-dessus de l'horizon pour telle latitude que ce soit. A B, plaque de cuivre sur laquelle est gravé un cadran rectiligne. C D E, quart de cercle divisé en dégrés & en minutes par des transversales. E D F, regle de cuivre mobile à laquelle il est attaché, & par le moyen de laquelle on le place sur tel dégré de latitude qu'on veut. A M, A K, rainures. G, H, deux vis qui servent à l'arrêter. S T, alidade. R, grain de chapelet qui coule le long du fil. V, coulant. X, Y, pinnules.

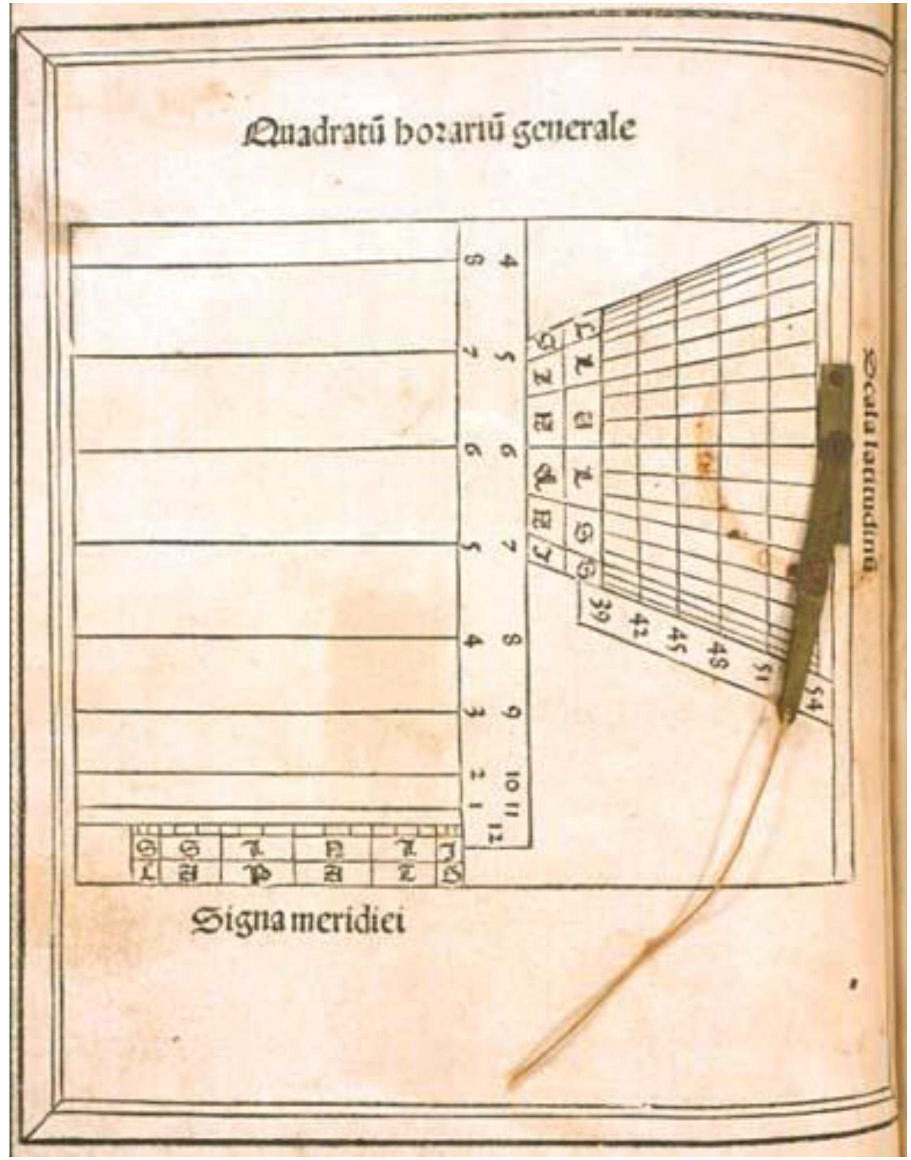
Fig. 2, représente un cadran horizontal, dont la construction est très-simple & très-aisée, comme on peut le voir à l'article où il en est parlé.


MA AVRI MAR FEVV IANV DE
HEVRES DEVANT MIDI
HEVRES APRES MIDI


Quadratū horariū generale
Scala latitudinis
Signa meridiei

Conclusion:

« Quadratum Horarum Generale »
de Johannes Regiomontanus est un nomogramme,



Abaque
du lieutenant de vaisseau Perret

Abaque de l'équation : $\cot A \sin AH + \cos\varphi \tan D - \sin\varphi \cos AH = 0$

Notations
- φ ...... Latitude de l'Observateur
- D ...... Déclinaison de l'astre, positive pour l'hémisphère nord.
- AH ...... Angle horaire, compté de 0 à 12^h, à partir du méridien supérieur, positivement vers l'ouest.
- A ...... Azimut, compté de 0 à 180°, à partir du sud, positivement vers l'ouest.

AH et A ont toujours le même signe, dont la considération est indifférente pour l'usage de l'abaque.

Usage de l'Abaque. — L'Abaque permet d'obtenir l'une des 4 quantités φ, D, AH, A, lorsque 3 d'entre elles sont données. Il suffit, pour cela, d'utiliser la propriété suivante :
- Un 1er point étant situé sur l'axe de droite, à la graduation correspondante à D ;
- Un 2e point étant situé sur l'axe de gauche, à la graduation correspondante à A ;
- Un 3e point étant situé à l'intersection des courbes cotées φ et AH ;

"Ces 3 points sont en ligne droite"

L'abaque est construit pour une latitude nord ; si la latitude est australe, la seule modification à la manière d'opérer est la substitution de la courbe $(12^h - AH)$ à la courbe AH.

Lieut.t de Vaisseau Perret.

Usage des échelles auxiliaires dans la recherche de l'Azimut

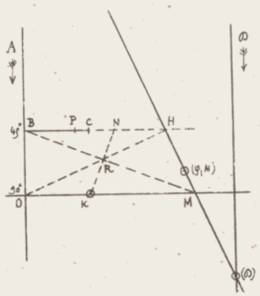
Lorsque la droite déterminée par les points de cotes (φ, AH) et (D) ne rencontre pas l'axe des Azimuts dans les limites de la graduation, on se sert de l'échelle auxiliaire supérieure ou inférieure selon que l'astre est dans le voisinage du Sud ou du Nord.

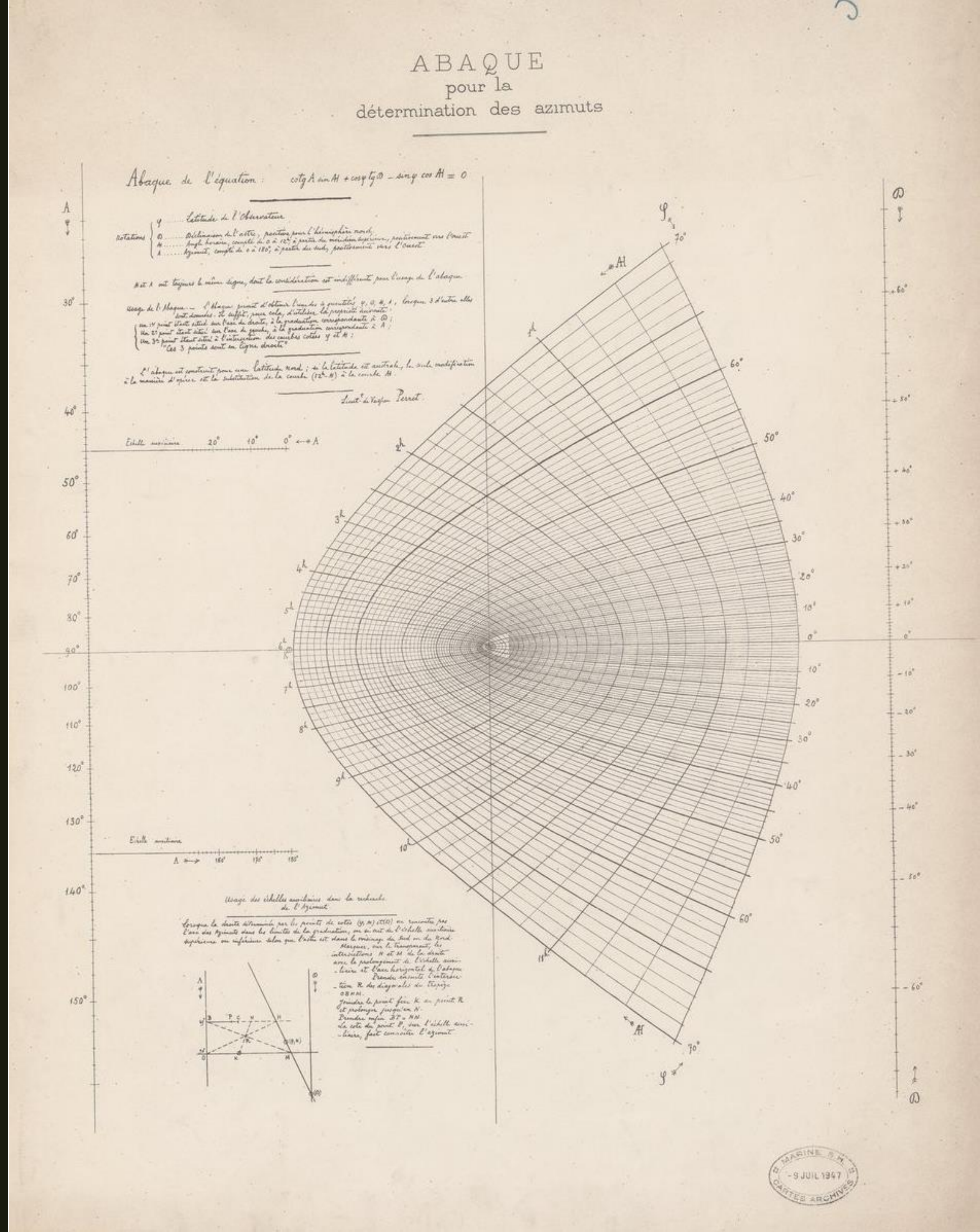
Marquer, sur le transparent, les intersections H et M de la droite avec le prolongement de l'échelle auxiliaire et l'axe horizontal de l'abaque. Prendre ensuite l'intersection R des diagonales du trapèze OBHM.

Joindre le point fixe K au point R et prolonger jusqu'en N.

Prendre enfin BP = HN.

La cote du point P, sur l'échelle auxiliaire, fait connaître l'azimut.





C’est en 1904 que le **lieutenant de vaisseau Perret** met au point son « Abaque pour la détermination des azimuts »

Cet abaque se trace en décomposant la formule

$$\sin H \cot a + \cos \phi \tan \delta - \sin \phi \cos H = 0$$

en 4 courbes distinctes:

- Les 2 échelles azimut et déclinaison:

  $$\mathrm{u} = \cot a$$
  $$\mathrm{v} = \tan \delta$$

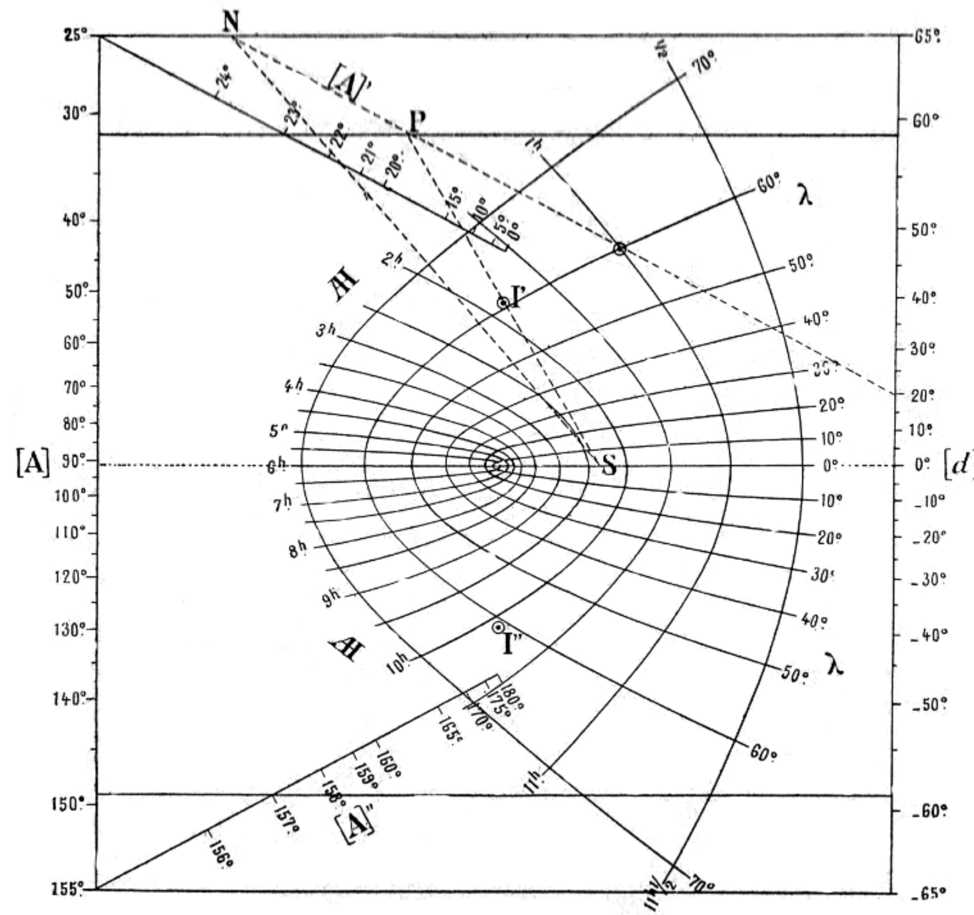
- Les 2 faisceaux d’hyperboles:

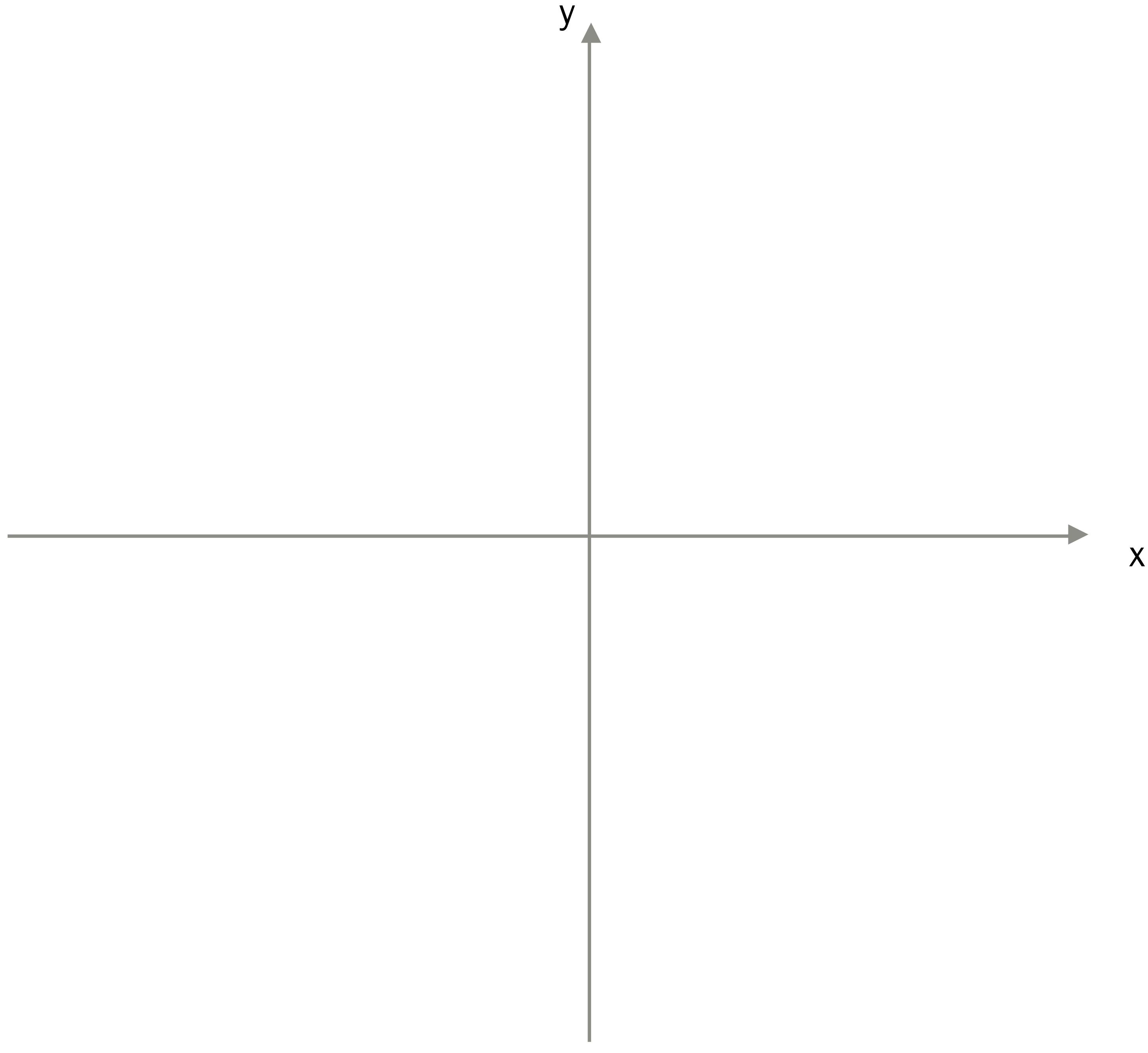
$$\mathrm{y} = \frac{x^2 \cos H^2 - 2lx(1 + \sin H^2) + l^2 \cos H^2}{4l^2 \tan H^2}$$

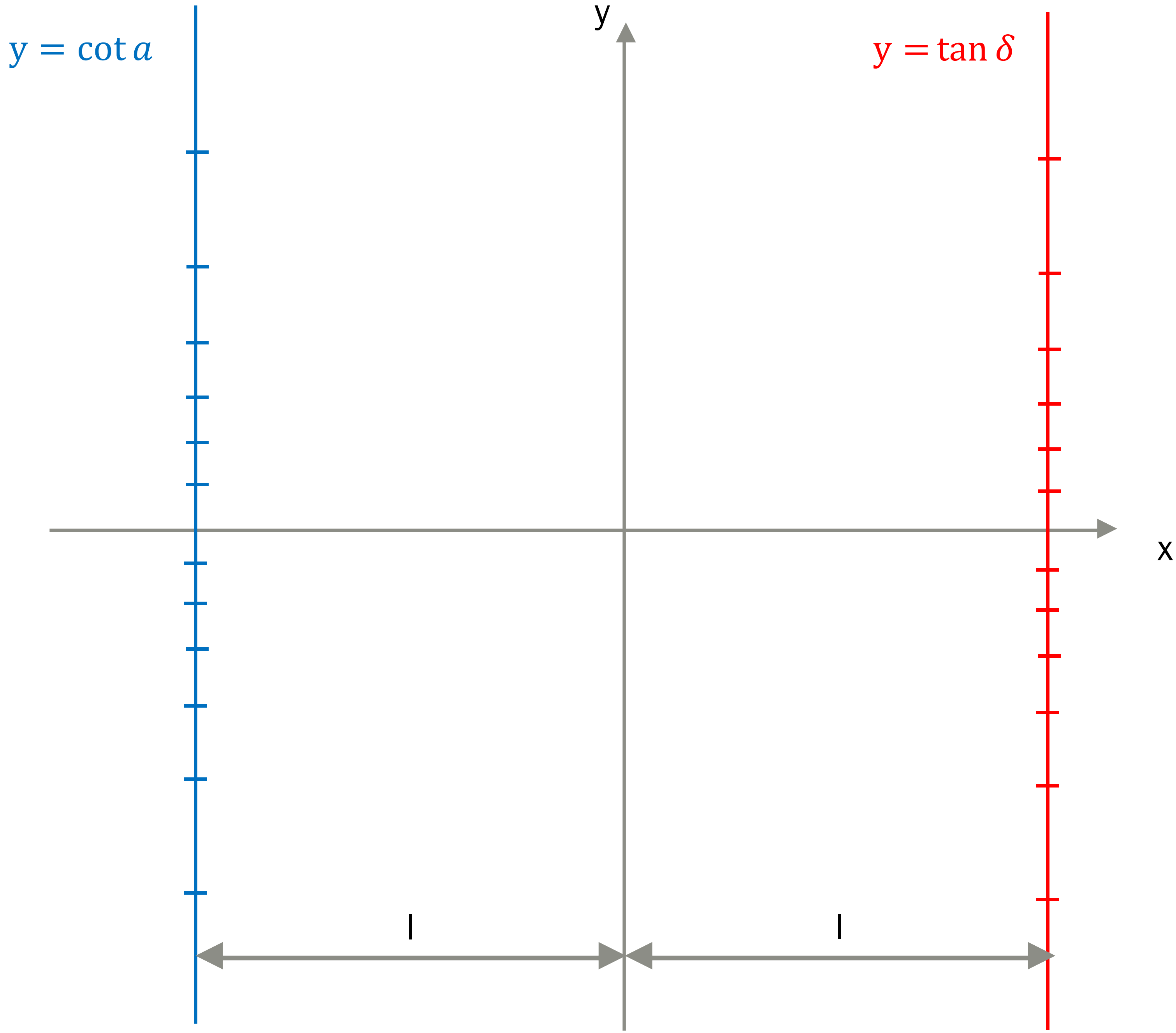
$$\mathrm{y} = \frac{x^2 \sin \phi^2 + 2lx(1 + \cos \phi^2) + l^2 \sin \phi^2}{4l^2 \cot \phi^2}$$

AZIMUT PAR L’HEURE

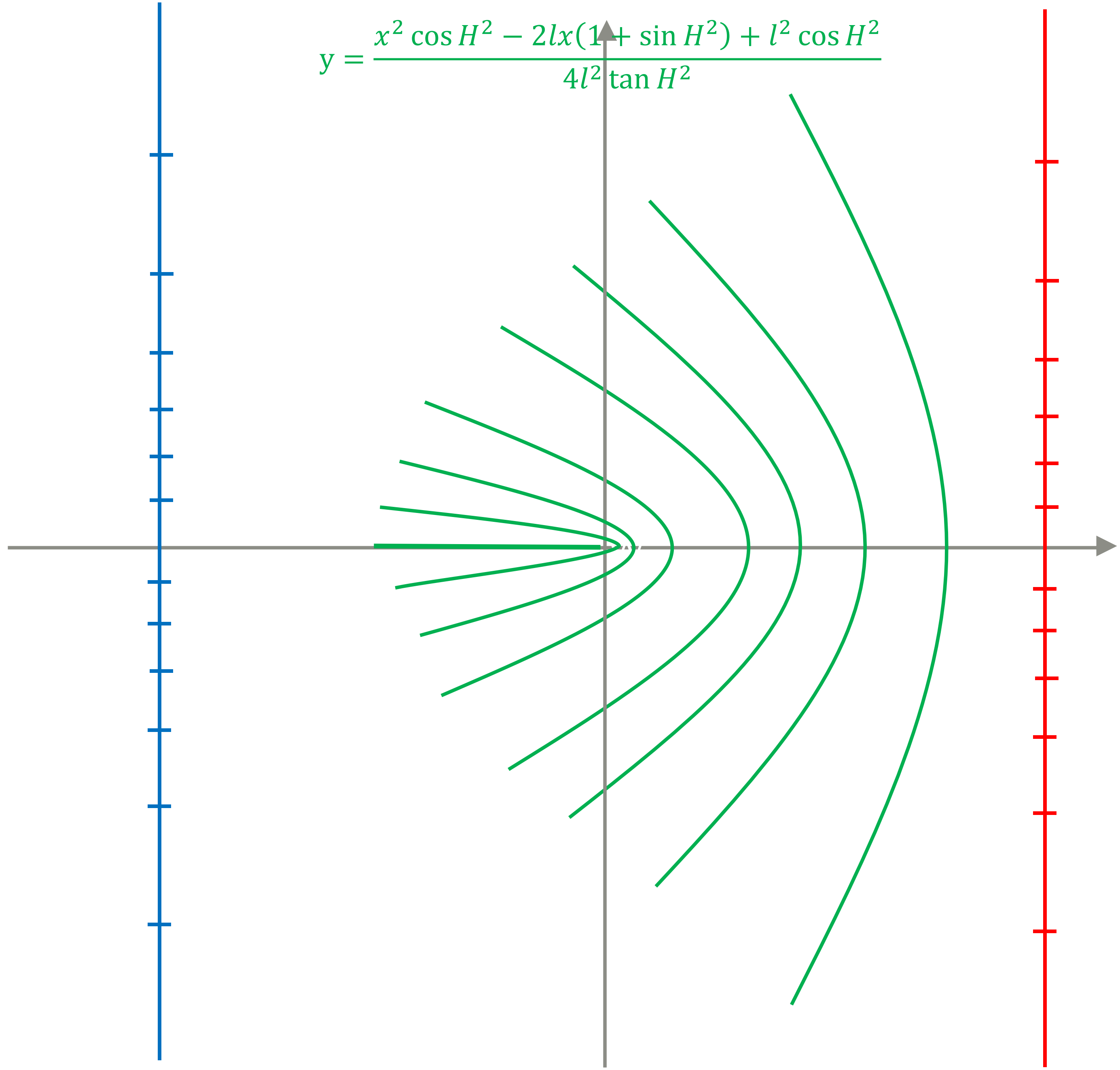
$$\sin \gamma \operatorname{cotg} \delta + \sin \mathrm{AH} \operatorname{cotg} \mathrm{A} - \cos \gamma \cos \mathrm{AH} = 0$$



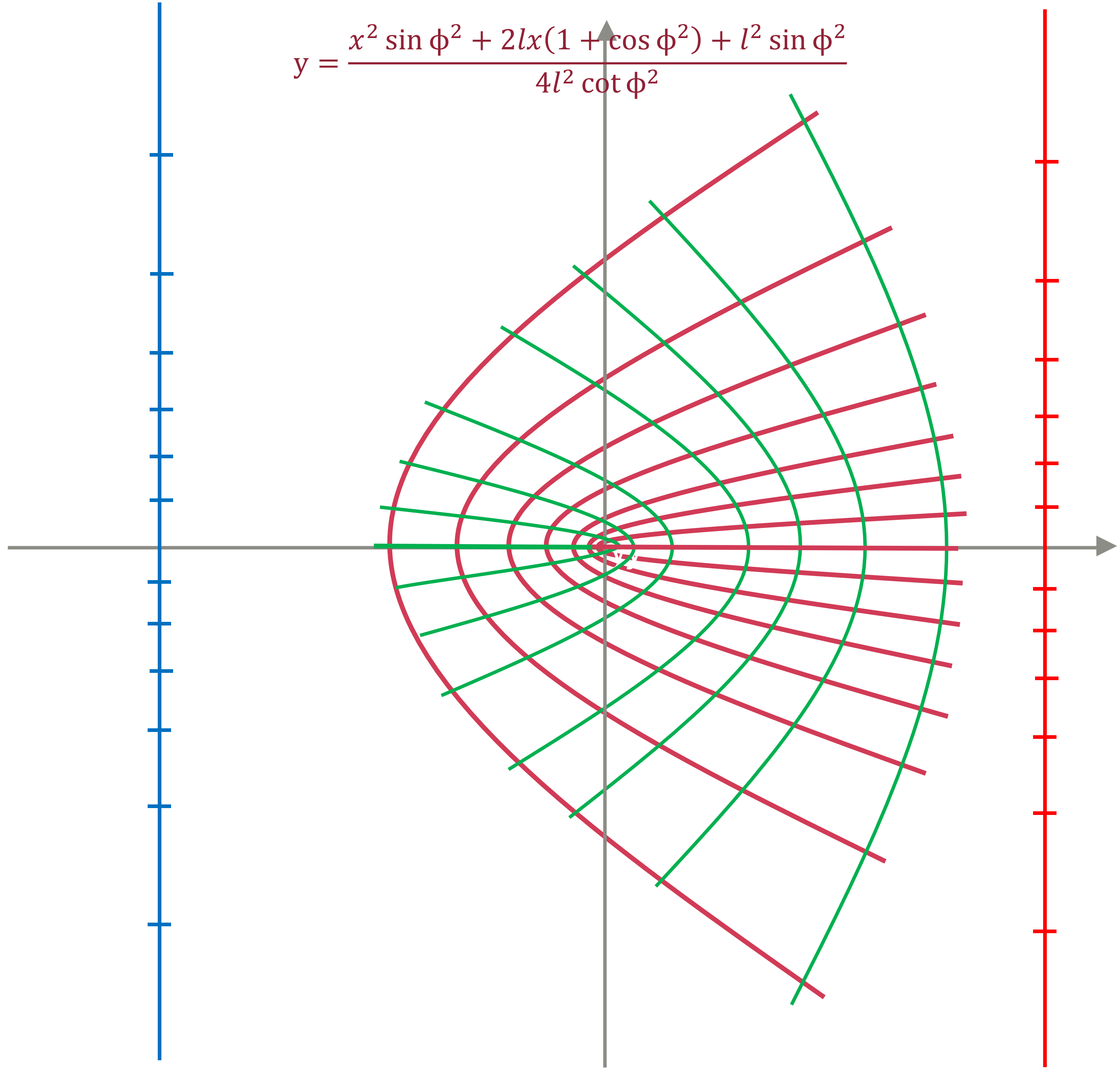

y
x

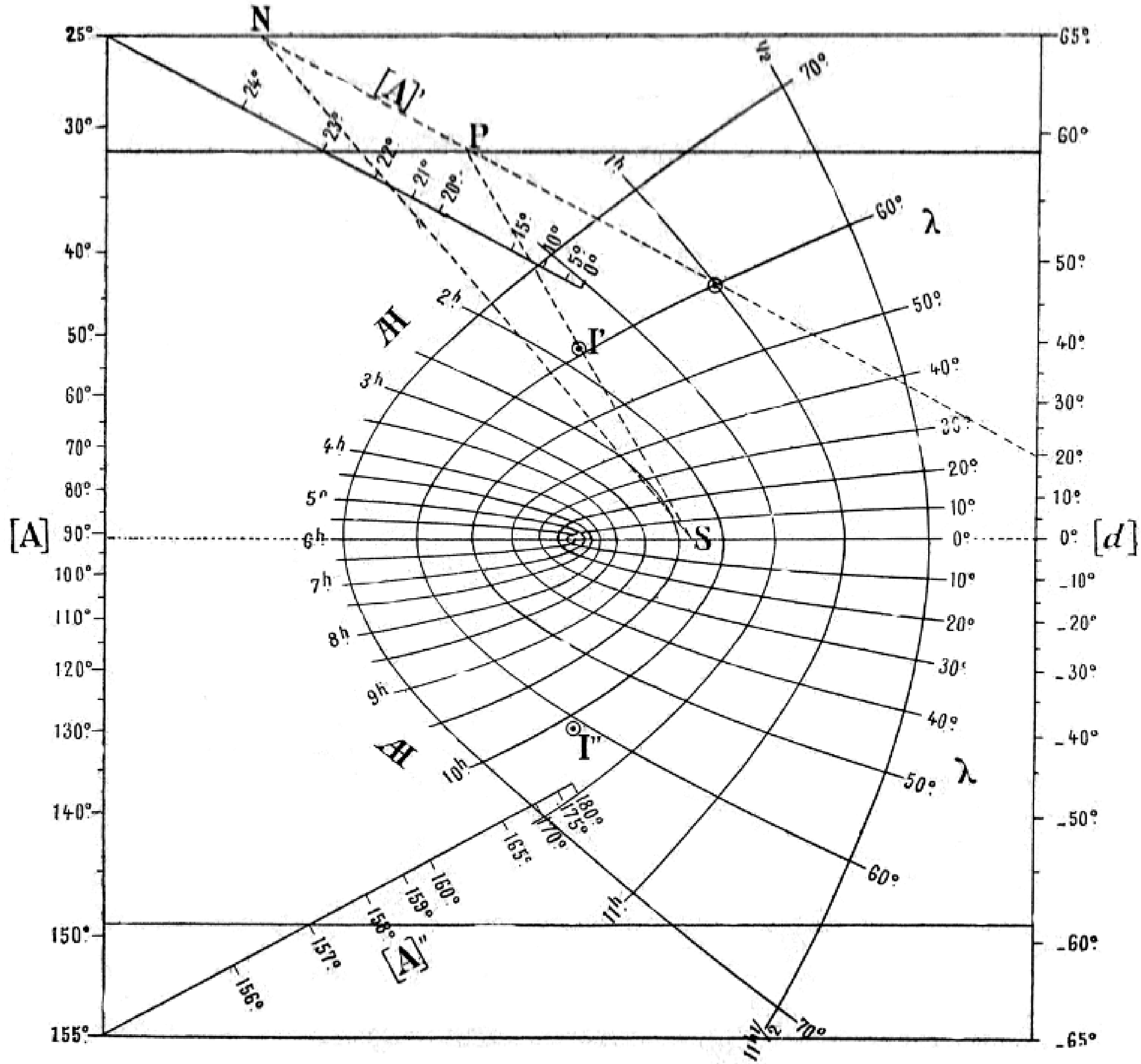


$y = \cot a$
y
$y = \tan \delta$
x
l
l

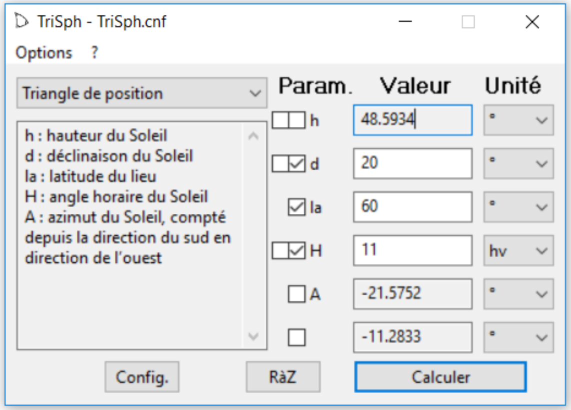

$y = \dfrac{x^2 \cos H^2 - 2lx(1 + \sin H^2) + l^2 \cos H^2}{4l^2 \tan H^2}$

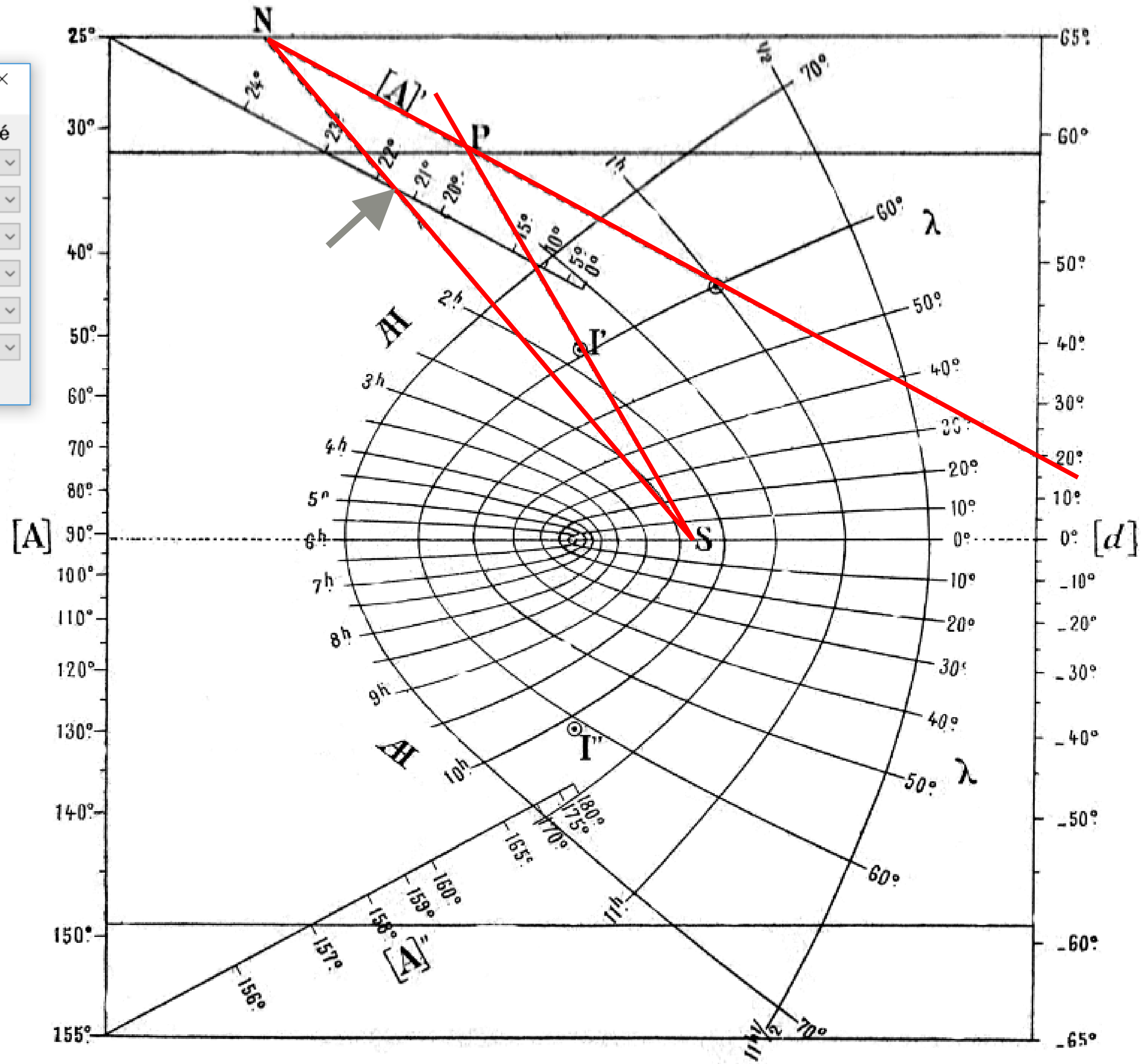
$$y = \frac{x^2 \sin\phi^2 + 2lx(1 + \cos\phi^2) + l^2 \sin\phi^2}{4l^2 \cot\phi^2}$$





N
P
S
I'
I"
[A]'
[A]"
[A]
[d]
λ
λ
AH
AH


TriSph - TriSph.cnf
Options ?
Triangle de position
Param.
Valeur
Unité
h : hauteur du Soleil
d : déclinaison du Soleil
la : latitude du lieu
H : angle horaire du Soleil
A : azimut du Soleil, compté depuis la direction du sud en direction de l'ouest
h 48.5934 °
d 20 °
la 60 °
H 11 hv
A -21.5752 °
-11.2833 °
Config.
RàZ
Calculer


N
P
S
I'
I''
[A]
[A]'
[A]''
[d]
λ
AH
25°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
100°
110°
120°
130°
140°
150°
155°
65°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
-10°
-20°
-30°
-40°
-50°
-60°
-65°
2h
3h
4h
5h
6h
7h
8h
9h
10h
11h

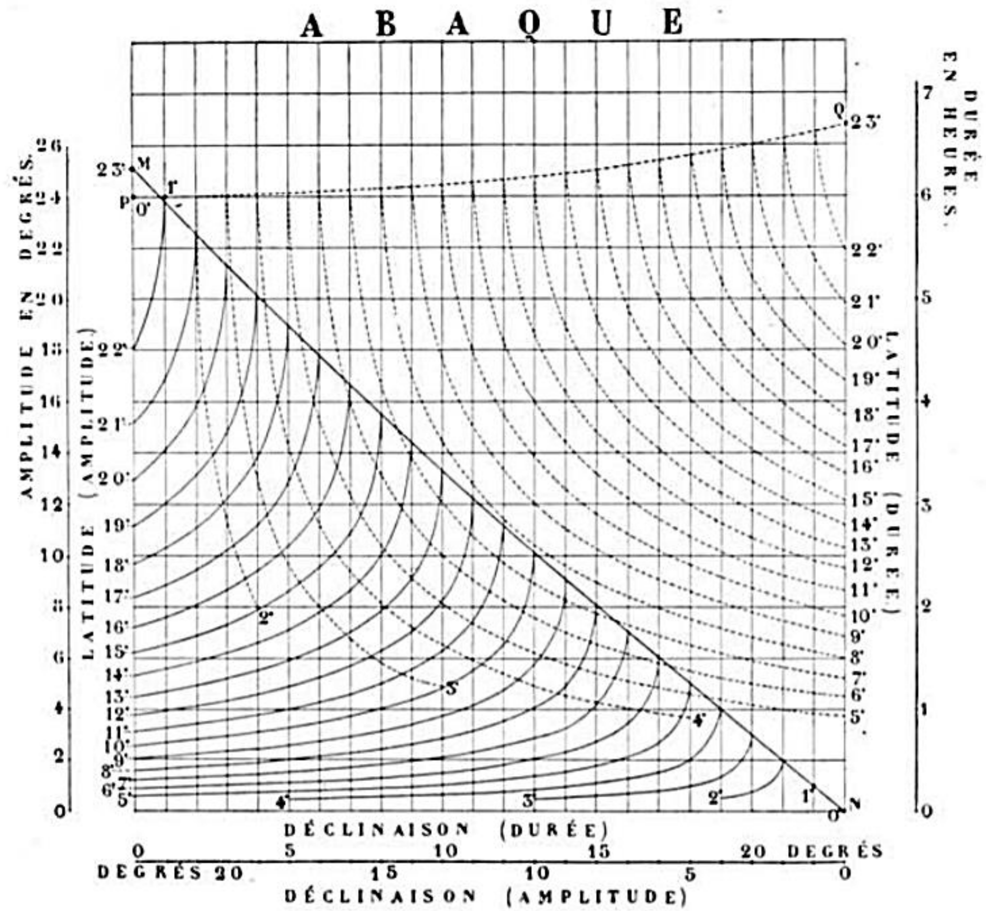
Note sur la rétrogradation de l’ombre

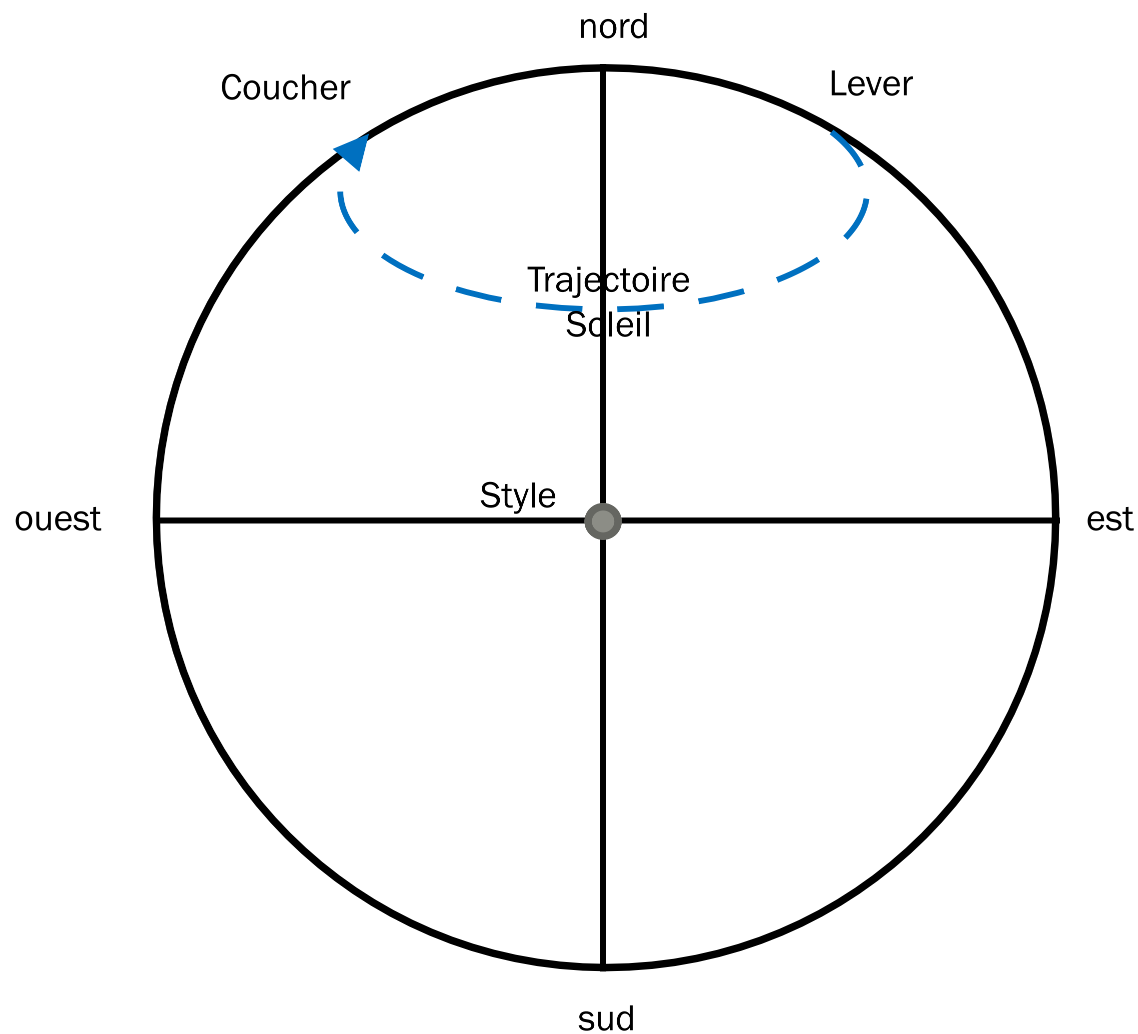
Maurice Edmund Joseph Gheury de Bray

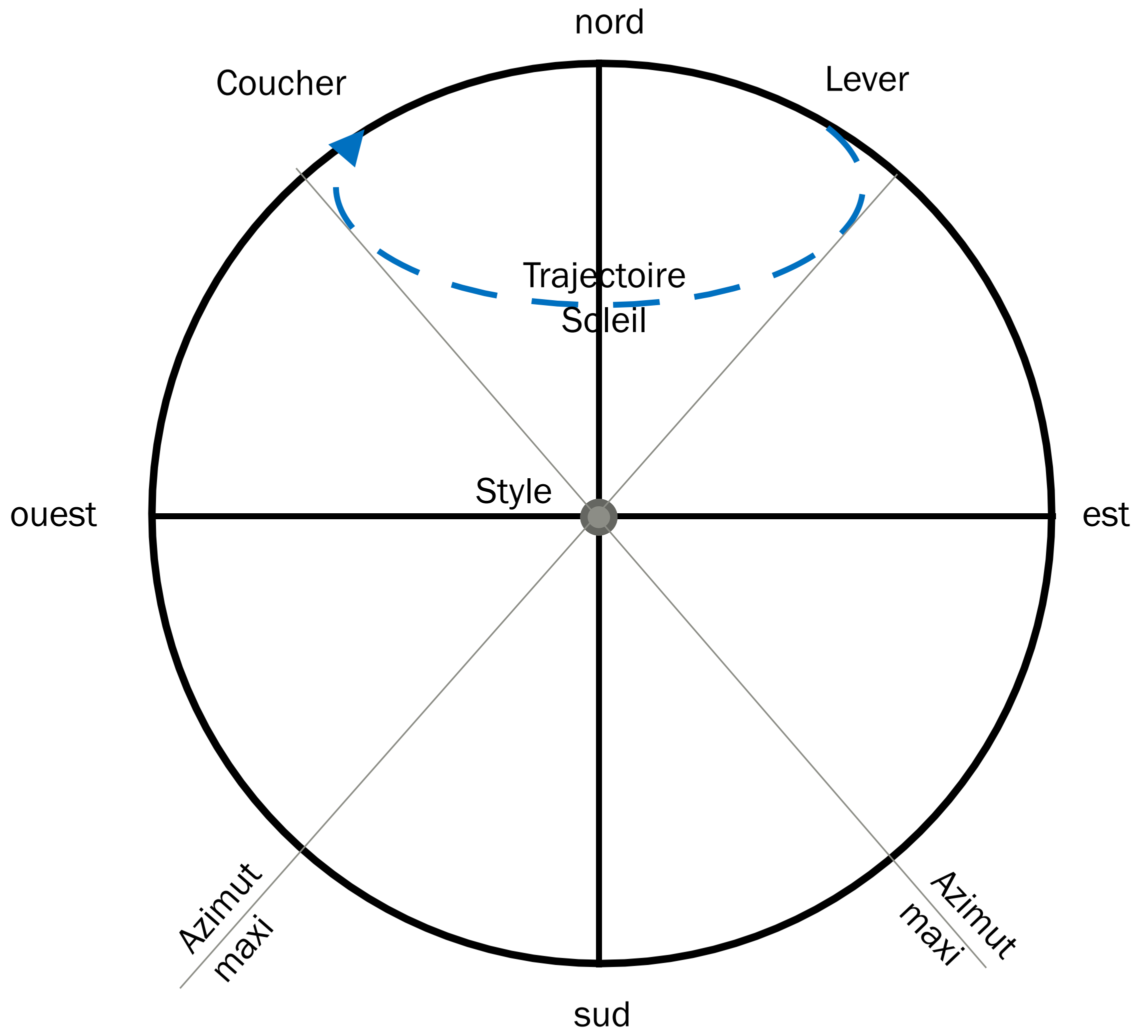
La rétrogradation de l’ombre ne se produit que lorsque le soleil passe par un azimuth maximum. Ceci ne se présente que lorsque
la latitude du lieu et la déclinaison du soleil sont de même signe et lorsque la déclinaison est plus grande que la latitude. L’azimuth maximum correspond alors à angle de position droit.

Durée de la rétrogradation
Amplitude de la rétrogradation

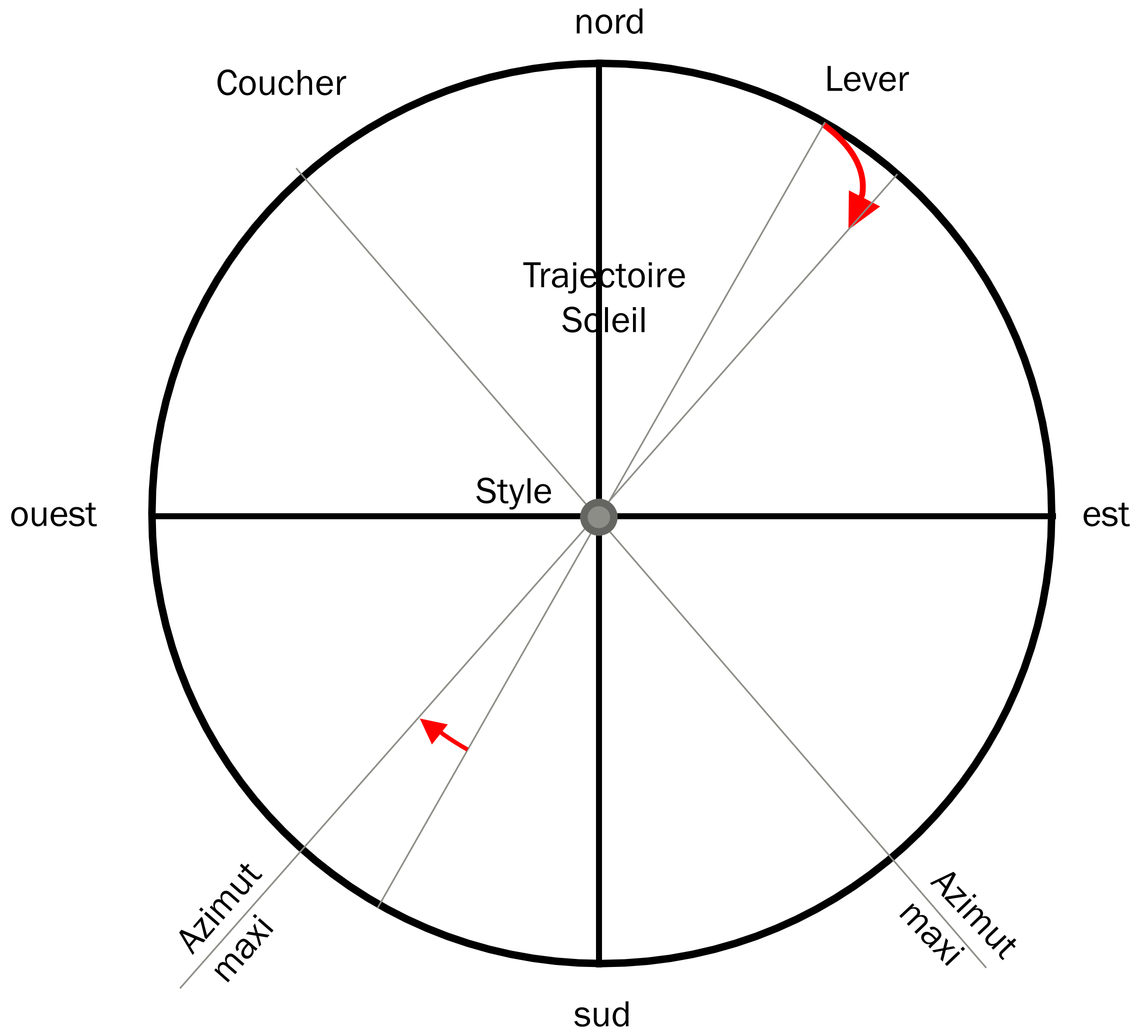
http://storage.lib.uchicago.edu/pres/2015/pres2015-0458.pdf

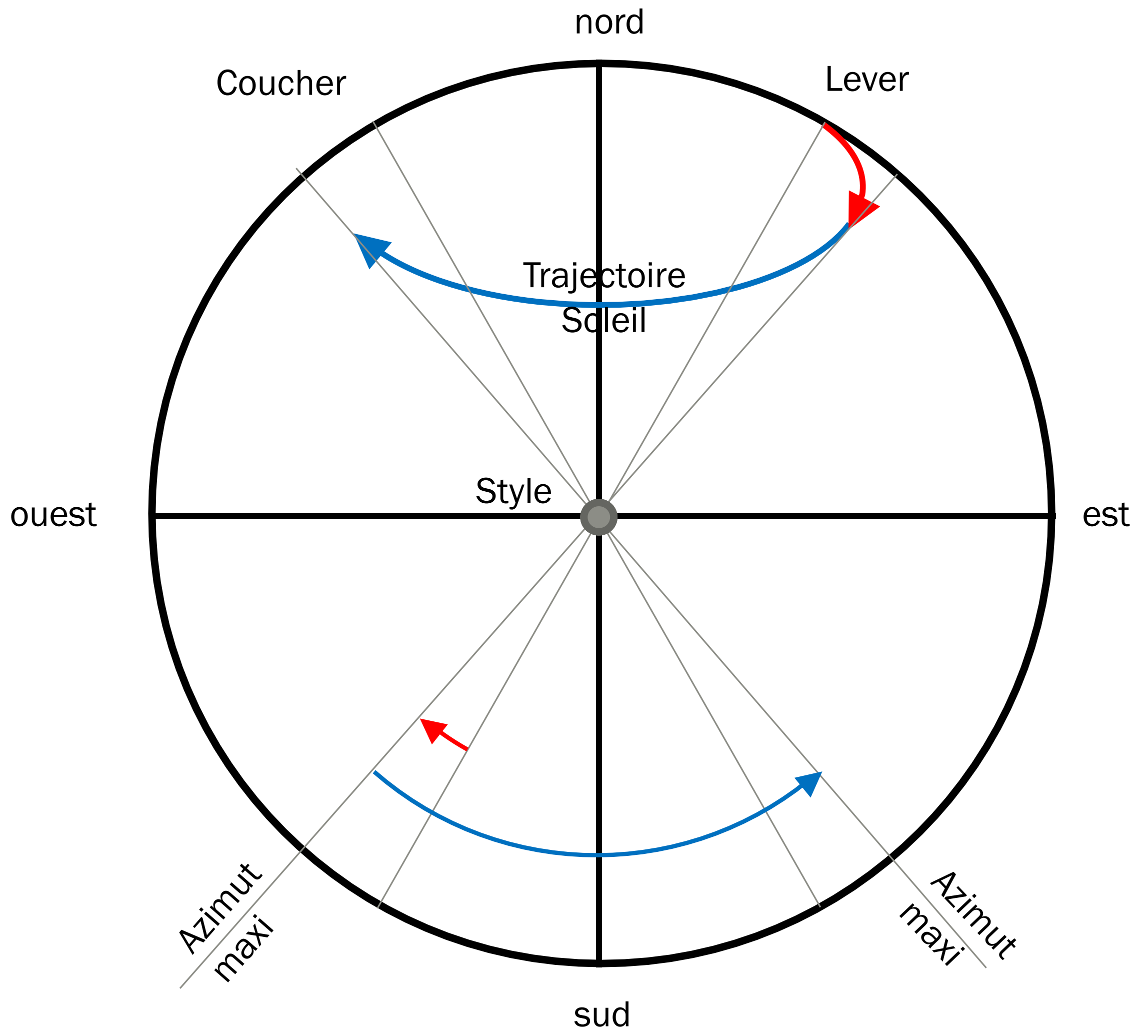



nord
Coucher
Lever
Trajectoire
Soleil
Style
ouest
est
sud

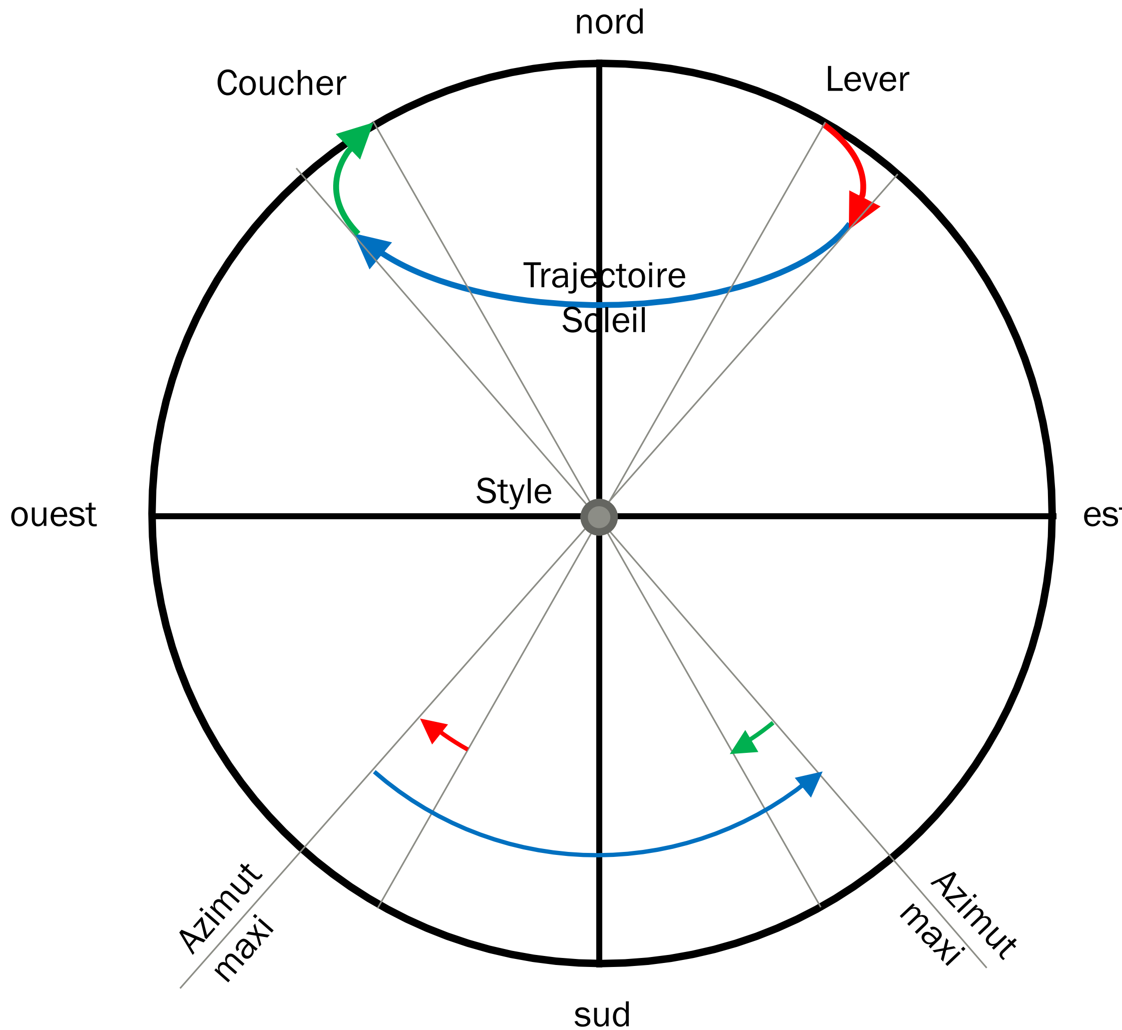


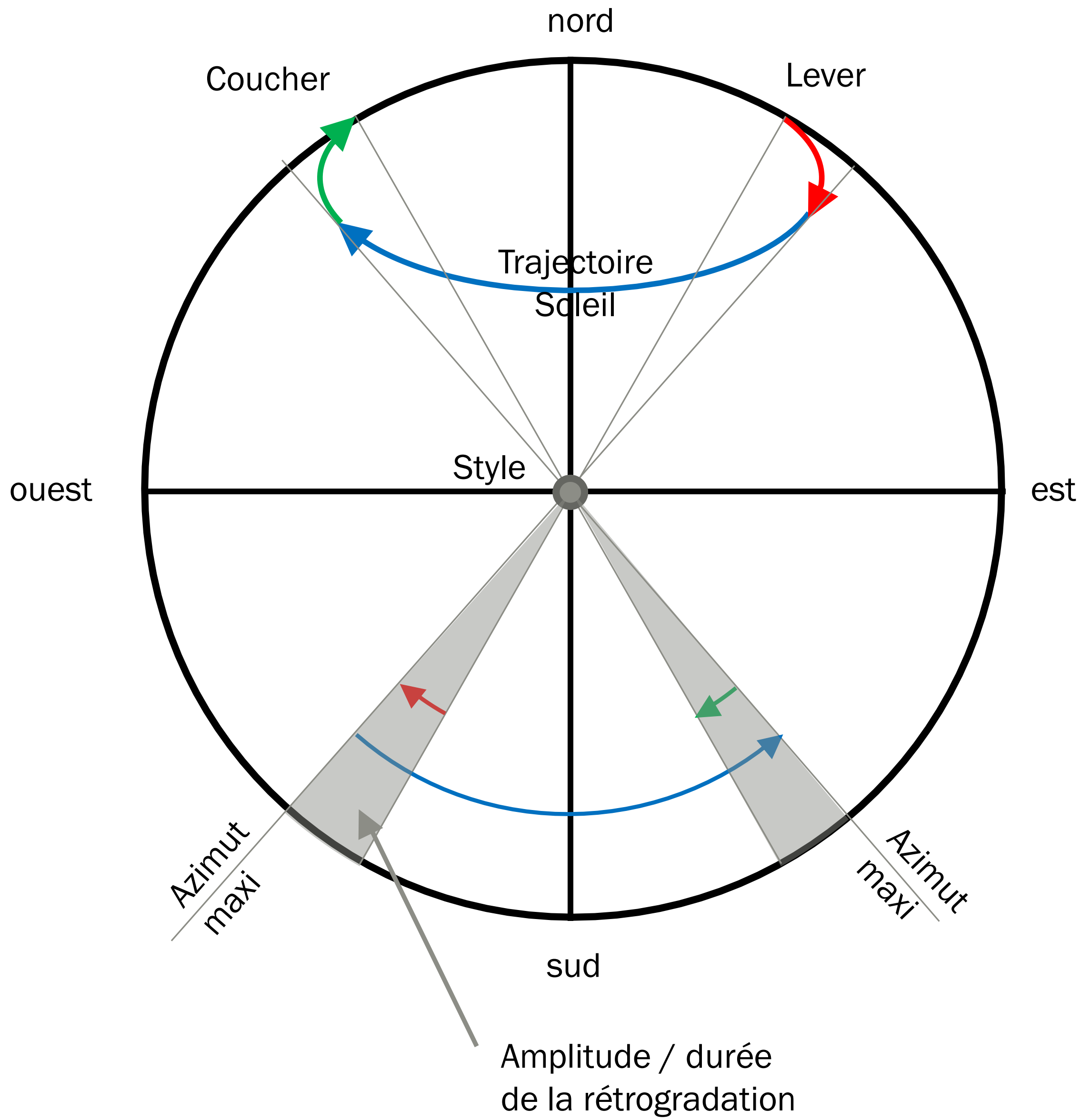
Azimut maxi $\boxed{\sin a = \frac{\cos \delta}{\cos \phi}}$


nord
Coucher
Lever
Trajectoire
Soleil
Style
ouest
est
Azimut
maxi
Azimut
maxi
sud



nord
Coucher
Lever
Trajectoire
Soleil
Style
ouest
est
Azimut
maxi
Azimut
maxi
sud

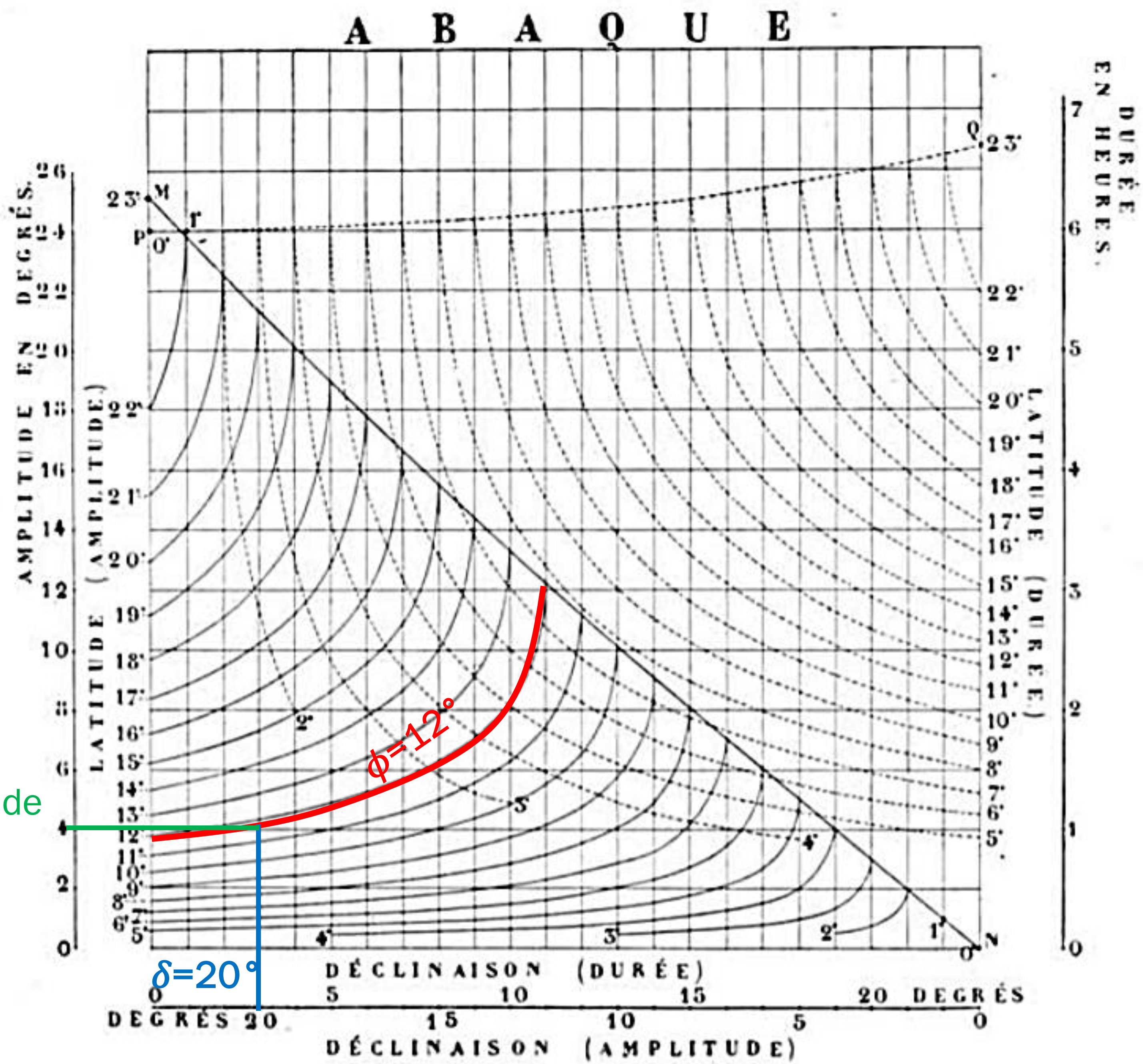

nord
Coucher
Lever
Trajectoire
Soleil
Style
ouest
est
Azimut
maxi
Azimut
maxi
sud



nord
Coucher
Lever
Trajectoire
Soleil
Style
ouest
est
Azimut
maxi
Azimut
maxi
sud
Amplitude / durée
de la rétrogradation

δ=20°

ϕ=12°



δ=20°

ϕ=12°

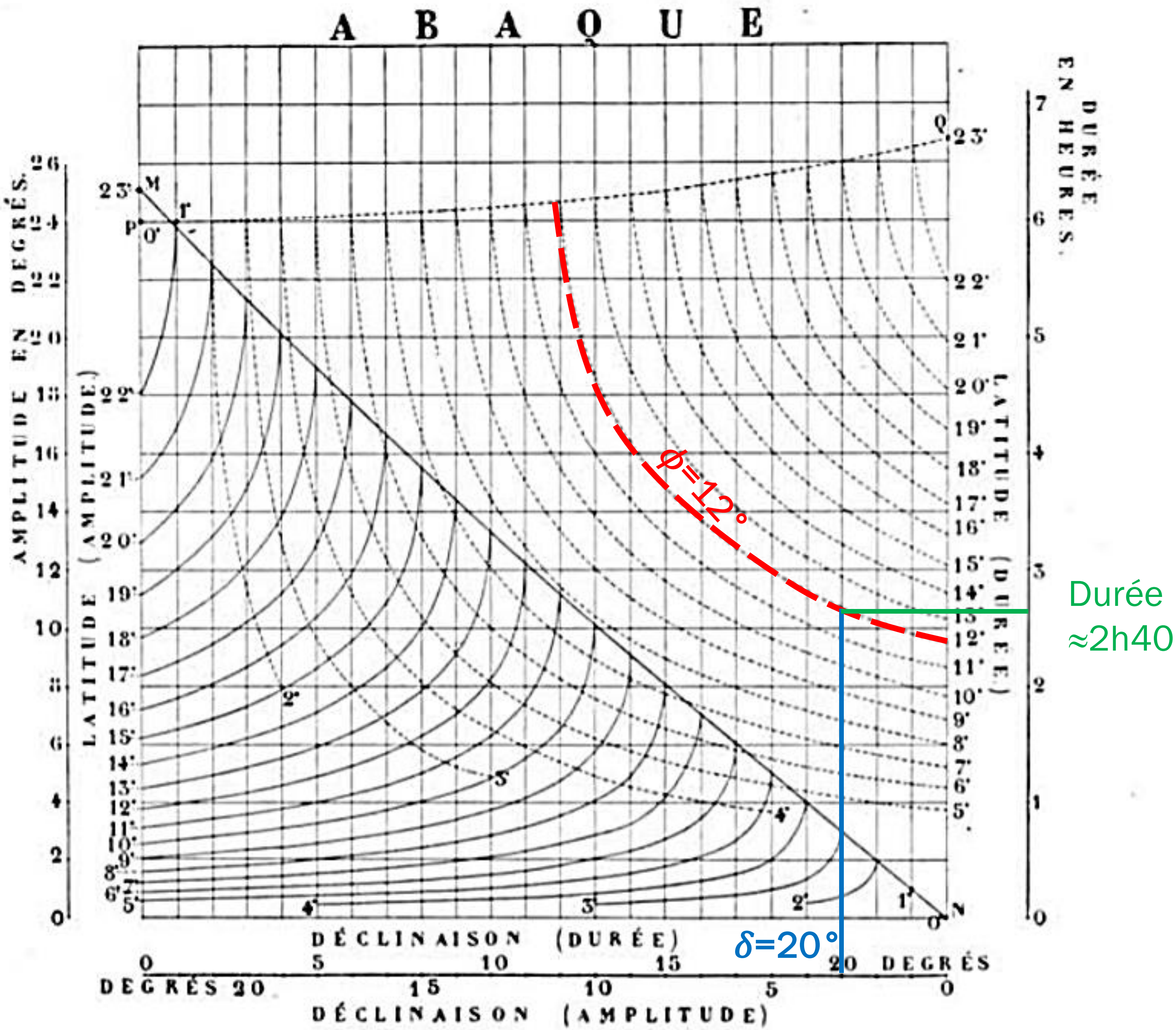


Table de la Rétrogradation de l'Ombre d'un Style Vertical sur un Cadran Horizontal

Latitude L et déclinaison D de même nom

NOTE. — Le temps indiqué est le temps vrai du lieu. — *m* = matin, *s* = soir. — Les valeurs imprimées en gros caractères correspondent à une rétrogradation durant la journée entière.

Table I — Dates où la déclinaison D du soleil passe par une valeur donnée

DÉCLINAISON		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
DATES	N	21 Mars 23 Sept.	24 Mars 20 Sept.	26 Mars 18 Sept.	29 Mars [illegible] Sept.	31 Mars 13 Sept.	3 Avril 11 Sept.	5 Avril 8 Sept.	8 Avril 5 Sept.	11 Avril 3 Sept.	14 Avril 31 Août	16 Avril 28 Août	19 Avril 25 Août
	S	21 Mars 23 Sept.	18 Mars 27 Sept.	16 Mars 29 Sept.	13 Mars 1 Octob.	11 Mars 4 Octob.	8 Mars 6 Octob.	6 Mars 9 Octob.	5 Mars 12 Octob.	1 Mars 14 Octob.	26 Févr. 17 Octob.	22 Févr. 20 Octob.	20 Févr. 22 Octob.

DÉCLINAISON		12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°
DATES	N	22 Avril 22 Août	25 Avril 19 Août	28 Avril 16 Août	1 Mai 13 Août	5 Mai 9 Août	8 Mai 6 Août	12 Mai 2 Août	16 Mai 29 Juill.	21 Mai 24 Juill.	26 Mai 19 Juill.	1 Juin 12 Juill.	12 Juin 3 Juill.
	S	18 Févr. 25 Octob.	14 Févr. 28 Octob.	12 Févr. 31 Octob.	8 Févr. 4 Nov.	5 Févr. 8 Nov.	2 Févr. 10 Nov.	29 Janv. 14 Nov.	25 Janv. 18 Nov.	21 Janv. 22 Nov.	16 Janv. 27 Nov.	10 Janv. 3 Déc.	3 Janv. 12 Déc.

Table II — Rétrogradation de l'ombre

L	D	CIRCONSTANCES
0°	0°	**Ombre stationnaire du lever au coucher du soleil. Durée 2 × 6 heures.**
1°	1°	**Rétrogradation de 6h 0m *m* à midi et de midi à 6h 0m *s*. Durée 2 × 6 heures. Amplitude : 2 × 1°.**

CIRCONSTANCES

L	D	2°	3°	4°
2°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]

CIRCONSTANCES

L	D	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
3°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°
4°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Amplitude inférieure à 30'				
5°	Commence Fini Durée Amplitude		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
6°	Commence Fini Durée Amplitude			[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
7°	Commence Fini Durée Amplitude				[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
8°	Commence Fini Durée Amplitude					[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
9°	Commence Fini Durée Amplitude						[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
10°	Commence Fini Durée Amplitude							[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
11°	Commence Fini Durée Amplitude								[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
12°	Commence Fini Durée Amplitude									[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
13°	Commence Fini Durée Amplitude										[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
14°	Commence Fini Durée Amplitude											[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°
15°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
16°	Commence Fini Durée Amplitude		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°
17°	Commence Fini Durée Amplitude			[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
18°	Commence Fini Durée Amplitude				[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	19°	20°	21°	22°	23°
19°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	20°	21°	22°	23°
20°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	21°	22°	23°
21°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]	[illegible]

L	D	22°	23°
22°	Commence Fini Durée Amplitude	[illegible]	[illegible]

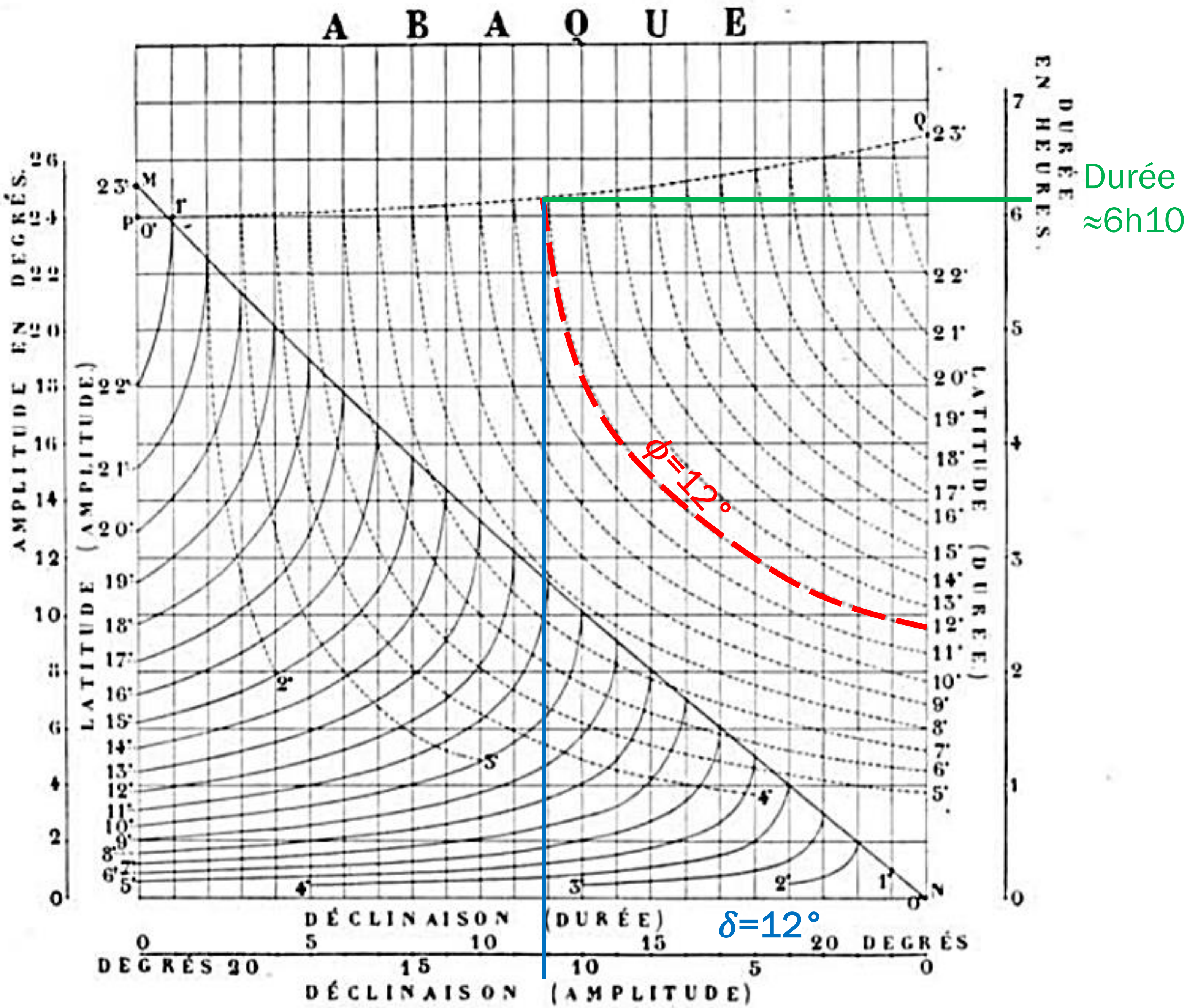
Latitude 23° Déclinaison 23° Rétrogradation de 5h 18m *m* à Midi et de Midi à 6h 42m *s*. Durée 2 × 6h 42m. Amplitude 2 × 25° 7'

L	D	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°
4°	Commence Finit Durée Amplitude	**5 h 59** m m **Midi** **Midi** **6** h **1** m s **2 × 6** h **1** m **2 × 4° 1'**	5 h 59 m m 2 h 32 m s 9 h 28 m m 6 h 1 m s 3 h 33 m 2° 1'	5 h 58 m m 3 h 14 m s 8 h 46 m m 6 h 2 m s 2 h 48 m 1° 32'	5 h 58 m m 3 h 42 m s 8 h 18 m m 6 h 2 m s 2 h 20 m 1° 17'	5 h 58 m m 4 h 0 m s 8 h 0 m m 6 h 2 m s 2 h 2 m 1° 5'	5 h 57 m m 4 h 15 m s 7 h 45 m m 6 h 3 m s 1 h 48 m 0° 58'	5 h 57 m m 4 h 25 m s 7 h 35 m m 6 h 3 m s 1 h 38 m 0° 51'	5 h 57 m m 4 h 34 m s 7 h 26 m m 6 h 3 m s 1 h 29 m 0° 47'	5 h 57 m m 4 h 42 m s 7 h 18 m m 6 h 3 m s 1 h 21 m 0° 43'	5 h 56 m m 4 h 50 m s 7 h 10 m m 6 h 4 m s 1 h 14 m 0° 39'	5 h 56 m m 4 h 56 m s 7 h 4 m m 6 h 4 m s 1 h 8 m 0° 36'	5 h 56 m m 5 h 0 m s 7 h 0 m m 6 h 4 m s 1 h 4 m 0° 34'	5 h 55 m m 5 h 4 m s 6 h 56 m m 6 h 5 m s 1 h 1 m 0° 32'	5 h 55 m m 5 h 7 m s 6 h 53 m m 6 h 5 m s 0 h 58 m 0° 31'	5 h 55 m m 5 h 10 m s 6 h 50 m m 6 h 5 m s 0 h 55 m 0° 29'		Amplitud
5°	Commence Finit Durée Amplitude		**5 h 58** m m **Midi** **Midi** **6** h **2** m s **2 × 6** h **2** m **2 × 5° 1'**	5 h 58 m m 2 h 13 m s 9 h 47 m m 6 h 2 m s 3 h 47 m 2° 42'	5 h 58 m m 2 h 57 m s 9 h 3 m m 6 h 2 m s 3 h 5 m 2° 8'	5 h 57 m m 3 h 27 m s 8 h 33 m m 6 h 3 m s 2 h 36 m 1° 47'	5 h 57 m m 3 h 46 m s 8 h 14 m m 6 h 3 m s 2 h 17 m 1° 33'	5 h 56 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 4 m s 2 h 2 m 1° 23'	5 h 56 m m 4 h 13 m s 7 h 47 m m 6 h 4 m s 1 h 51 m 1° 15'	5 h 56 m m 4 h 22 m s 7 h 38 m m 6 h 4 m s 1 h 42 m 1° 8'	5 h 55 m m 4 h 32 m s 7 h 28 m m 6 h 5 m s 1 h 33 m 1° 2'	5 h 55 m m 4 h 38 m s 7 h 22 m m 6 h 5 m s 1 h 27 m 0° 57'	5 h 55 m m 4 h 44 m s 7 h 16 m m 6 h 5 m s 1 h 21 m 0° 54'	5 h 54 m m 4 h 49 m s 7 h 11 m m 6 h 6 m s 1 h 16 m 0° 51'	5 h 54 m m 4 h 55 m s 7 h 7 m m 6 h 6 m s 1 h 13 m 0° 49'	5 h 53 m m 4 h 57 m s 7 h 3 m m 6 h 7 m s 1 h 10 m 0° 46'	5 h 53 m m 5 h 1 m s 6 h 59 m m 6 h 7 m s 1 h 6 m 0° 44'	5 h 53 m m 5 h 4 m s 6 h 56 m m 6 h 7 m s 1 h 3 m 0° 42'
6°	Commence Finit Durée Amplitude			**5 h 57** m m **Midi** **Midi** **6** h **3** m s **2 × 6** h **3** m **2 × 6° 2'**	5 h 57 m m 2 h 4 m s 9 h 56 m m 6 h 3 m s 3 h 59 m 3° 28'	5 h 57 m m 2 h 46 m s 9 h 14 m m 6 h 3 m s 3 h 17 m 2° 45'	5 h 56 m m 3 h 14 m s 8 h 46 m m 6 h 4 m s 2 h 50 m 2° 20'	5 h 56 m m 3 h 36 m s 8 h 24 m m 6 h 4 m s 2 h 30 m 2° 3'	5 h 55 m m 3 h 49 m s 8 h 11 m m 6 h 5 m s 2 h 15 m 1° 48'	5 h 55 m m 4 h 0 m s 8 h 0 m m 6 h 5 m s 2 h 5 m 1° 39'	5 h 54 m m 4 h 12 m s 7 h 48 m m 6 h 6 m s 1 h 54 m 1° 31'	5 h 54 m m 4 h 21 m s 7 h 39 m m 6 h 6 m s 1 h 45 m 1° 23'	5 h 54 m m 4 h 26 m s 7 h 34 m m 6 h 6 m s 1 h 39 m 1° 18'	5 h 53 m m 4 h 34 m s 7 h 26 m m 6 h 7 m s 1 h 33 m 1° 13'	5 h 53 m m 4 h 40 m s 7 h 20 m m 6 h 7 m s 1 h 27 m 1° 9'	5 h 52 m m 4 h 45 m s 7 h 15 m m 6 h 8 m s 1 h 24 m 1° 6'	5 h 52 m m 4 h 50 m s 7 h 10 m m 6 h 8 m s 1 h 18 m 1° 3'	5 h 51 m m 4 h 54 m s 7 h 6 m m 6 h 9 m s 1 h 15 m 1° 0'
7°	Commence Finit Durée Amplitude				**5 h 56** m m **Midi** **Midi** **6** h **4** m s **2 × 6** h **4** m **2 × 7° 4'**	5 h 56 m m 1 h 55 m s 10 h 5 m m 6 h 4 m s 4 h 9 m 4° 12'	5 h 56 m m 2 h 36 m s 9 h 24 m m 6 h 4 m s 3 h 28 m 3° 15'	5 h 55 m m 3 h 4 m s 8 h 56 m m 6 h 5 m s 3 h 1 m 2° 54'	5 h 55 m m 3 h 24 m s 8 h 36 m m 6 h 5 m s 2 h 41 m 2° 35'	5 h 54 m m 3 h 39 m s 8 h 21 m m 6 h 6 m s 2 h 27 m 2° 19'	5 h 54 m m 3 h 52 m s 8 h 8 m m 6 h 6 m s 2 h 14 m 2° 6'	5 h 53 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 7 m s 2 h 5 m 1° 57'	5 h 52 m m 4 h 12 m s 7 h 46 m m 6 h 8 m s 1 h 56 m 1° 49'	5 h 52 m m 4 h 18 m s 7 h 42 m m 6 h 8 m s 1 h 50 m 1° 42'	5 h 51 m m 4 h 26 m s 7 h 34 m m 6 h 9 m s 1 h 43 m 1° 36'	5 h 51 m m 4 h 31 m s 7 h 29 m m 6 h 9 m s 1 h 38 m 1° 31'	5 h 50 m m 4 h 37 m s 7 h 23 m m 6 h 10 m s 1 h 33 m 1° 26'	5 h 50 m m 4 h 41 m s 7 h 19 m m 6 h 10 m s 1 h 29 m 1° 22'
8°	Commence Finit Durée Amplitude					**5 h 55** m m **Midi** **Midi** **6** h **5** m s **2 × 6** h **5** m **2 × 8° 5'**	5 h 55 m m 1 h 49 m s 10 h 11 m m 6 h 5 m s 4 h 16 m 4° 58'	5 h 54 m m 2 h 30 m s 9 h 30 m m 6 h 6 m s 3 h 36 m 4° 5'	5 h 54 m m 2 h 58 m s 9 h 2 m m 6 h 6 m s 3 h 12 m 3° 33'	5 h 53 m m 3 h 15 m s 8 h 45 m m 6 h 7 m s 2 h 52 m 3° 8'	5 h 53 m m 3 h 30 m s 8 h 30 m m 6 h 7 m s 2 h 37 m 2° 51'	5 h 52 m m 3 h 44 m s 8 h 16 m m 6 h 8 m s 2 h 24 m 2° 36'	5 h 51 m m 3 h 54 m s 8 h 6 m m 6 h 9 m s 2 h 14 m 2° 24'	5 h 51 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 9 m s 2 h 7 m 2° 16'	5 h 50 m m 4 h 10 m s 7 h 50 m m 6 h 10 m s 2 h 0 m 2° 8'	5 h 50 m m 4 h 17 m s 7 h 43 m m 6 h 10 m s 1 h 53 m 2° 0'	5 h 49 m m 4 h 23 m s 7 h 37 m m 6 h 11 m s 1 h 48 m 1° 54'	5 h 48 m m 4 h 29 m s 7 h 31 m m 6 h 12 m s 1 h 43 m 1° 48'
9°	Commence Finit Durée Amplitude						**5 h 54** m m **Midi** **Midi** **6** h **6** m s **2 × 6** h **6** m **2 × 9° 7'**	5 h 54 m m 1 h 43 m s 10 h 17 m m 6 h 6 m s 4 h 28 m 5° 47'	5 h 53 m m 2 h 22 m s 9 h 38 m m 6 h 7 m s 3 h 45 m 4° 47'	5 h 52 m m 2 h 48 m s 9 h 12 m m 6 h 8 m s 3 h 20 m 4° 11'	5 h 52 m m 3 h 7 m s 8 h 53 m m 6 h 8 m s 3 h 1 m 3° 45'	5 h 51 m m 3 h 23 m s 8 h 39 m m 6 h 9 m s 2 h 46 m 3° 29'	5 h 50 m m 3 h 35 m s 8 h 25 m m 6 h 10 m s 2 h 35 m 3° 8'	5 h 50 m m 3 h 46 m s 8 h 14 m m 6 h 10 m s 2 h 24 m 2° 55'	5 h 49 m m 3 h 55 m s 8 h 5 m m 6 h 11 m s 2 h 16 m 2° 45'	5 h 48 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 12 m s 2 h 10 m 2° 35'	5 h 48 m m 4 h 9 m s 7 h 51 m m 6 h 12 m s 2 h 3 m 2° 27'	5 h 47 m m 4 h 8 m s 7 h 52 m m 6 h 13 m s 1 h 57 m 2° 20'
10°	Commence Finit Durée Amplitude							**5 h 53** m m **Midi** **Midi** **6** h **7** m s **2 × 6** h **7** m **2 × 10° 10'**	5 h 52 m m 1 h 39 m s 10 h 21 m m 6 h 8 m s 4 h 29 m 6° 35'	5 h 51 m m 2 h 16 m s 9 h 44 m m 6 h 9 m s 3 h 53 m 5° 32'	5 h 51 m m 2 h 41 m s 9 h 19 m m 6 h 9 m s 3 h 28 m 4° 52'	5 h 50 m m 3 h 2 m s 8 h 58 m m 6 h 10 m s 3 h 8 m 4° 23'	5 h 49 m m 3 h 16 m s 8 h 44 m m 6 h 11 m s 2 h 55 m 4° 2'	5 h 48 m m 3 h 29 m s 8 h 31 m m 6 h 12 m s 2 h 49 m 3° 43'	5 h 48 m m 3 h 39 m s 8 h 21 m m 6 h 12 m s 2 h 33 m 3° 28'	5 h 47 m m 3 h 48 m s 8 h 12 m m 6 h 13 m s 2 h 25 m 3° 16'	5 h 46 m m 3 h 56 m s 8 h 4 m m 6 h 14 m s 2 h 18 m 3° 6'	5 h 45 m m 4 h 4 m s 7 h 56 m m 6 h 15 m s 2 h 11 m 2° 57'
11°	Commence Finit Durée Amplitude								**5 h 51** m m **Midi** **Midi** **6** h **9** m s **2 × 6** h **9** m **2 × 11° 13'**	5 h 51 m m 1 h 35 m s 10 h 25 m m 6 h 9 m s 4 h 34 m 7° 27'	5 h 50 m m 2 h 10 m s 9 h 50 m m 6 h 10 m s 4 h 0 m 6° 17'	5 h 49 m m 2 h 35 m s 9 h 25 m m 6 h 11 m s 3 h 36 m 5° 33'	5 h 48 m m 2 h 55 m s 9 h 5 m m 6 h 12 m s 3 h 17 m 5° 2'	5 h 47 m m 3 h 10 m s 3 h 50 m m 6 h 13 m s 3 h 3 m 4° 36'	5 h 46 m m 3 h 23 m s 8 h 37 m m 6 h 14 m s 2 h 51 m 4° 17'	5 h 46 m m 3 h 33 m s 8 h 27 m m 6 h 14 m s 2 h 41 m 4° 1'	5 h 45 m m 3 h 42 m s 8 h 18 m m 6 h 15 m s 2 h 33 m 3° 47'	5 h 44 m m 3 h 51 m s 8 h 9 m m 6 h 16 m s 2 h 25 m 3° 36'
12°	Commence Finit Durée Amplitude									**5 h 50** m m **Midi** **Midi** **6** h **10** m s **2 × 6** h **10** m **2 × 12° 16'**	5 h 49 m m 1 h 32 m s 10 h 28 m m 6 h 11 m s 4 h 39 m 8° 16'	5 h 48 m m 2 h 6 m s 9 h 54 m m 6 h 12 m s 4 h 6 m 7° 3'	5 h 47 m m 2 h 31 m s 9 h 29 m m 6 h 13 m s 3 h 42 m 6° 17'	5 h 46 m m 2 h 50 m s 9 h 10 m m 6 h 14 m s 3 h 24 m 5° 42'	5 h 45 m m 3 h 4 m s 8 h 56 m m 6 h 15 m s 3 h 11 m 5° 15'	5 h 44 m m 3 h 17 m s 8 h 43 m m 6 h 16 m s 2 h 59 m 4° 54'	5 h 43 m m 3 h 28 m s 8 h 32 m m 6 h 17 m s 2 h 49 m 4° 36'	5 h 42 m m 3 h 37 m s 8 h 23 m m 6 h 18 m s 2 h 41 m 4° 21'

12°	Commence Finit Durée Amplitude	5 h 42 m m 3 h 37 m s 8 h 23 m m 6 h 18 m s 2 h 41 m 4° 21'

δ=12°

ϕ=12°



L	D	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°
4°	Commence Finit Durée Amplitude	**5 h 59 m** m **Midi** **Midi** **6 h 1 m** s **2 × 6 h 1 m** **2 × 4° 1'**	5 h 59 m m 2 h 32 m s 9 h 28 m m 6 h 1 m s 3 h 33 m 2° 1'	5 h 58 m m 3 h 14 m s 8 h 46 m m 6 h 2 m s 2 h 48 m 1° 32'	5 h 58 m m 3 h 42 m s 8 h 18 m m 6 h 2 m s 2 h 20 m 1° 17'	5 h 58 m m 4 h 0 m s 8 h 0 m m 6 h 2 m s 2 h 2 m 1° 5'	5 h 57 m m 4 h 15 m s 7 h 45 m m 6 h 3 m s 1 h 48 m 0° 58'	5 h 57 m m 4 h 25 m s 7 h 35 m m 6 h 3 m s 1 h 38 m 0° 51'	5 h 57 m m 4 h 34 m s 7 h 26 m m 6 h 3 m s 1 h 29 m 0° 47'	5 h 57 m m 4 h 42 m s 7 h 18 m m 6 h 3 m s 1 h 21 m 0° 43'	5 h 56 m m 4 h 50 m s 7 h 10 m m 6 h 4 m s 1 h 14 m 0° 39'	5 h 56 m m 4 h 56 m s 7 h 4 m m 6 h 4 m s 1 h 8 m 0° 36'	5 h 56 m m 5 h 0 m s 7 h 0 m m 6 h 4 m s 1 h 4 m 0° 34'	5 h 55 m m 5 h 4 m s 6 h 56 m m 6 h 5 m s 1 h 1 m 0° 32'	5 h 55 m m 5 h 7 m s 6 h 53 m m 6 h 5 m s 0 h 58 m 0° 31'	5 h 55 m m 5 h 10 m s 6 h 50 m m 6 h 5 m s 0 h 55 m 0° 29'		Amplitud
5°	Commence Finit Durée Amplitude		**5 h 58 m** m **Midi** **Midi** **6 h 2 m** s **2 × 6 h 2 m** **2 × 5° 1'**	5 h 58 m m 2 h 13 m s 9 h 47 m m 6 h 2 m s 3 h 47 m 2° 42'	5 h 58 m m 2 h 57 m s 9 h 3 m m 6 h 2 m s 3 h 5 m 2° 8'	5 h 57 m m 3 h 27 m s 8 h 33 m m 6 h 3 m s 2 h 36 m 1° 47'	5 h 57 m m 3 h 46 m s 8 h 14 m m 6 h 3 m s 2 h 17 m 1° 33'	5 h 56 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 4 m s 2 h 2 m 1° 23'	5 h 56 m m 4 h 13 m s 7 h 47 m m 6 h 4 m s 1 h 51 m 1° 15'	5 h 56 m m 4 h 22 m s 7 h 38 m m 6 h 4 m s 1 h 42 m 1° 8'	5 h 55 m m 4 h 32 m s 7 h 28 m m 6 h 5 m s 1 h 33 m 1° 2'	5 h 55 m m 4 h 38 m s 7 h 22 m m 6 h 5 m s 1 h 27 m 0° 57'	5 h 55 m m 4 h 44 m s 7 h 16 m m 6 h 5 m s 1 h 21 m 0° 54'	5 h 54 m m 4 h 49 m s 7 h 11 m m 6 h 6 m s 1 h 16 m 0° 51'	5 h 54 m m 4 h 55 m s 7 h 7 m m 6 h 6 m s 1 h 13 m 0° 49'	5 h 53 m m 4 h 57 m s 7 h 3 m m 6 h 7 m s 1 h 10 m 0° 46'	5 h 53 m m 5 h 1 m s 6 h 59 m m 6 h 7 m s 1 h 6 m 0° 44'	5 h 53 m m 5 h 4 m s 6 h 56 m m 6 h 7 m s 1 h 3 m 0° 42'
6°	Commence Finit Durée Amplitude			**5 h 57 m** m **Midi** **Midi** **6 h 3 m** s **2 × 6 h 3 m** **2 × 6° 2'**	5 h 57 m m 2 h 4 m s 9 h 56 m m 6 h 3 m s 3 h 59 m 3° 28'	5 h 57 m m 2 h 46 m s 9 h 14 m m 6 h 3 m s 3 h 17 m 2° 45'	5 h 56 m m 3 h 14 m s 8 h 46 m m 6 h 4 m s 2 h 50 m 2° 20'	5 h 56 m m 3 h 36 m s 8 h 24 m m 6 h 4 m s 2 h 30 m 2° 3'	5 h 55 m m 3 h 49 m s 8 h 11 m m 6 h 5 m s 2 h 15 m 1° 48'	5 h 55 m m 4 h 0 m s 8 h 0 m m 6 h 5 m s 2 h 5 m 1° 39'	5 h 54 m m 4 h 12 m s 7 h 48 m m 6 h 6 m s 1 h 54 m 1° 31'	5 h 54 m m 4 h 21 m s 7 h 39 m m 6 h 6 m s 1 h 45 m 1° 23'	5 h 54 m m 4 h 26 m s 7 h 34 m m 6 h 6 m s 1 h 39 m 1° 18'	5 h 53 m m 4 h 34 m s 7 h 26 m m 6 h 7 m s 1 h 33 m 1° 13'	5 h 53 m m 4 h 40 m s 7 h 20 m m 6 h 7 m s 1 h 27 m 1° 9'	5 h 52 m m 4 h 45 m s 7 h 15 m m 6 h 8 m s 1 h 24 m 1° 6'	5 h 52 m m 4 h 50 m s 7 h 10 m m 6 h 8 m s 1 h 18 m 1° 3'	5 h 51 m m 4 h 54 m s 7 h 6 m m 6 h 9 m s 1 h 15 m 1° 0'
7°	Commence Finit Durée Amplitude				**5 h 56 m** m **Midi** **Midi** **6 h 4 m** s **2 × 6 h 4 m** **2 × 7° 4'**	5 h 56 m m 1 h 55 m s 10 h 5 m m 6 h 4 m s 4 h 9 m 4° 12'	5 h 56 m m 2 h 36 m s 9 h 24 m m 6 h 4 m s 3 h 28 m 3° 15'	5 h 55 m m 3 h 4 m s 8 h 56 m m 6 h 5 m s 3 h 1 m 2° 54'	5 h 55 m m 3 h 24 m s 8 h 36 m m 6 h 5 m s 2 h 41 m 2° 35'	5 h 54 m m 3 h 39 m s 8 h 21 m m 6 h 6 m s 2 h 27 m 2° 19'	5 h 54 m m 3 h 52 m s 8 h 8 m m 6 h 6 m s 2 h 14 m 2° 6'	5 h 53 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 7 m s 2 h 5 m 1° 57'	5 h 52 m m 4 h 12 m s 7 h 46 m m 6 h 8 m s 1 h 56 m 1° 49'	5 h 52 m m 4 h 18 m s 7 h 42 m m 6 h 8 m s 1 h 50 m 1° 42'	5 h 51 m m 4 h 26 m s 7 h 34 m m 6 h 9 m s 1 h 43 m 1° 36'	5 h 51 m m 4 h 31 m s 7 h 29 m m 6 h 9 m s 1 h 38 m 1° 31'	5 h 50 m m 4 h 37 m s 7 h 23 m m 6 h 10 m s 1 h 33 m 1° 26'	5 h 50 m m 4 h 41 m s 7 h 19 m m 6 h 10 m s 1 h 29 m 1° 22'
8°	Commence Finit Durée Amplitude					**5 h 55 m** m **Midi** **Midi** **6 h 5 m** s **2 × 6 h 5 m** **2 × 8° 5'**	5 h 55 m m 1 h 49 m s 10 h 11 m m 6 h 5 m s 4 h 16 m 4° 58'	5 h 54 m m 2 h 30 m s 9 h 30 m m 6 h 6 m s 3 h 36 m 4° 5'	5 h 54 m m 2 h 58 m s 9 h 2 m m 6 h 6 m s 3 h 12 m 3° 33'	5 h 53 m m 3 h 15 m s 8 h 45 m m 6 h 7 m s 2 h 52 m 3° 8'	5 h 53 m m 3 h 30 m s 8 h 30 m m 6 h 7 m s 2 h 37 m 2° 51'	5 h 52 m m 3 h 44 m s 8 h 16 m m 6 h 8 m s 2 h 24 m 2° 36'	5 h 51 m m 3 h 54 m s 8 h 6 m m 6 h 9 m s 2 h 14 m 2° 24'	5 h 51 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 9 m s 2 h 7 m 2° 16'	5 h 50 m m 4 h 10 m s 7 h 50 m m 6 h 10 m s 2 h 0 m 2° 8'	5 h 50 m m 4 h 17 m s 7 h 43 m m 6 h 10 m s 1 h 53 m 2° 0'	5 h 49 m m 4 h 23 m s 7 h 37 m m 6 h 11 m s 1 h 48 m 1° 54'	5 h 48 m m 4 h 29 m s 7 h 31 m m 6 h 12 m s 1 h 43 m 1° 48'
9°	Commence Finit Durée Amplitude						**5 h 54 m** m **Midi** **Midi** **6 h 6 m** s **2 × 6 h 6 m** **2 × 9° 7'**	5 h 54 m m 1 h 43 m s 10 h 17 m m 6 h 6 m s 4 h 28 m 5° 47'	5 h 53 m m 2 h 22 m s 9 h 38 m m 6 h 7 m s 3 h 45 m 4° 47'	5 h 52 m m 2 h 48 m s 9 h 12 m m 6 h 8 m s 3 h 20 m 4° 11'	5 h 52 m m 3 h 7 m s 8 h 53 m m 6 h 8 m s 3 h 1 m 3° 45'	5 h 51 m m 3 h 23 m s 8 h 39 m m 6 h 9 m s 2 h 46 m 3° 29'	5 h 50 m m 3 h 35 m s 8 h 25 m m 6 h 10 m s 2 h 35 m 3° 8'	5 h 50 m m 3 h 46 m s 8 h 14 m m 6 h 10 m s 2 h 24 m 2° 55'	5 h 49 m m 3 h 55 m s 8 h 5 m m 6 h 11 m s 2 h 16 m 2° 45'	5 h 48 m m 4 h 2 m s 7 h 58 m m 6 h 12 m s 2 h 10 m 2° 35'	5 h 48 m m 4 h 9 m s 7 h 51 m m 6 h 12 m s 2 h 3 m 2° 27'	5 h 47 m m 4 h 8 m s 7 h 52 m m 6 h 13 m s 1 h 57 m 2° 20'
10°	Commence Finit Durée Amplitude							**5 h 53 m** m **Midi** **Midi** **6 h 7 m** s **2 × 6 h 7 m** **2 × 10° 10'**	5 h 52 m m 1 h 39 m s 10 h 21 m m 6 h 8 m s 4 h 29 m 6° 35'	5 h 51 m m 2 h 16 m s 9 h 44 m m 6 h 9 m s 3 h 53 m 5° 32'	5 h 51 m m 2 h 41 m s 9 h 19 m m 6 h 9 m s 3 h 28 m 4° 52'	5 h 50 m m 3 h 2 m s 8 h 58 m m 6 h 10 m s 3 h 8 m 4° 23'	5 h 49 m m 3 h 16 m s 8 h 44 m m 6 h 11 m s 2 h 55 m 4° 2'	5 h 48 m m 3 h 29 m s 8 h 31 m m 6 h 12 m s 2 h 49 m 3° 43'	5 h 48 m m 3 h 39 m s 8 h 21 m m 6 h 12 m s 2 h 33 m 3° 28'	5 h 47 m m 3 h 48 m s 8 h 12 m m 6 h 13 m s 2 h 25 m 3° 16'	5 h 46 m m 3 h 56 m s 8 h 4 m m 6 h 14 m s 2 h 18 m 3° 6'	5 h 45 m m 4 h 4 m s 7 h 56 m m 6 h 15 m s 2 h 11 m 2° 57'
11°	Commence Finit Durée Amplitude								**5 h 51 m** m **Midi** **Midi** **6 h 9 m** s **2 × 6 h 9 m** **2 × 11° 13'**	5 h 51 m m 1 h 35 m s 10 h 25 m m 6 h 9 m s 4 h 34 m 7° 27'	5 h 50 m m 2 h 10 m s 9 h 50 m m 6 h 10 m s 4 h 0 m 6° 17'	5 h 49 m m 2 h 35 m s 9 h 25 m m 6 h 11 m s 3 h 36 m 5° 33'	5 h 48 m m 2 h 55 m s 9 h 5 m m 6 h 12 m s 3 h 17 m 5° 2'	5 h 47 m m 3 h 10 m s 8 h 50 m m 6 h 13 m s 3 h 3 m 4° 36'	5 h 46 m m 3 h 23 m s 8 h 37 m m 6 h 14 m s 2 h 51 m 4° 17'	5 h 46 m m 3 h 33 m s 8 h 27 m m 6 h 14 m s 2 h 41 m 4° 1'	5 h 45 m m 3 h 42 m s 8 h 18 m m 6 h 15 m s 2 h 33 m 3° 47'	5 h 44 m m 3 h 51 m s 8 h 9 m m 6 h 16 m s 2 h 25 m 3° 36'
12°	Commence Finit Durée Amplitude									**5 h 50 m** m **Midi** **Midi** **6 h 10 m** s **2 × 6 h 10 m** **2 × 12° 16'**	5 h 49 m m 1 h 32 m s 10 h 28 m m 6 h 11 m s 4 h 39 m 8° 16'	5 h 48 m m 2 h 6 m s 9 h 54 m m 6 h 12 m s 4 h 6 m 7° 3'	5 h 47 m m 2 h 31 m s 9 h 29 m m 6 h 13 m s 3 h 42 m 6° 17'	5 h 46 m m 2 h 50 m s 9 h 10 m m 6 h 14 m s 3 h 24 m 5° 42'	5 h 45 m m 3 h 4 m s 8 h 56 m m 6 h 15 m s 3 h 11 m 5° 15'	5 h 44 m m 3 h 17 m s 8 h 43 m m 6 h 16 m s 2 h 59 m 4° 54'	5 h 43 m m 3 h 28 m s 8 h 32 m m 6 h 17 m s 2 h 49 m 4° 36'	5 h 42 m m 3 h 37 m s 8 h 23 m m 6 h 18 m s 2 h 41 m 4° 21'

12°	Commence Finit Durée Amplitude	**5 h 50 m** m **Midi** **Midi** **6 h 10 m** s **2 × 6 h 10 m** **2 × 12° 16'**

En1962 **Harold John Allcock** publie « The nomogram; the theory and practical construction of computation”,
Il y présente un nouveau type de nomogramme pouvant servir à calculer les heures de lever et coucher du Soleil.

La formule:

$$\tan\phi = \cot\delta.\cos H$$

Est décomposée en 3 échelles distintes:

$$x_1 = \frac{D}{1 + \cot\delta^2}$$
$$x_2 = \frac{D}{1 + \cos H^2}$$
$$x_3 = \frac{D}{1 + \tan\phi^2}$$

Les échelles x_1 , $x_2$et x_3 sont tracées sur le segment diamètre d’un cercle de diameter D.
Les échelles x_1 et x_2 sont ensuite projetées sur la circonférence du cercle,


THE NOMOGRAM

THE THEORY AND PRACTICAL CONSTRUCTION OF COMPUTATION CHARTS

BY

H. J. ALLCOCK

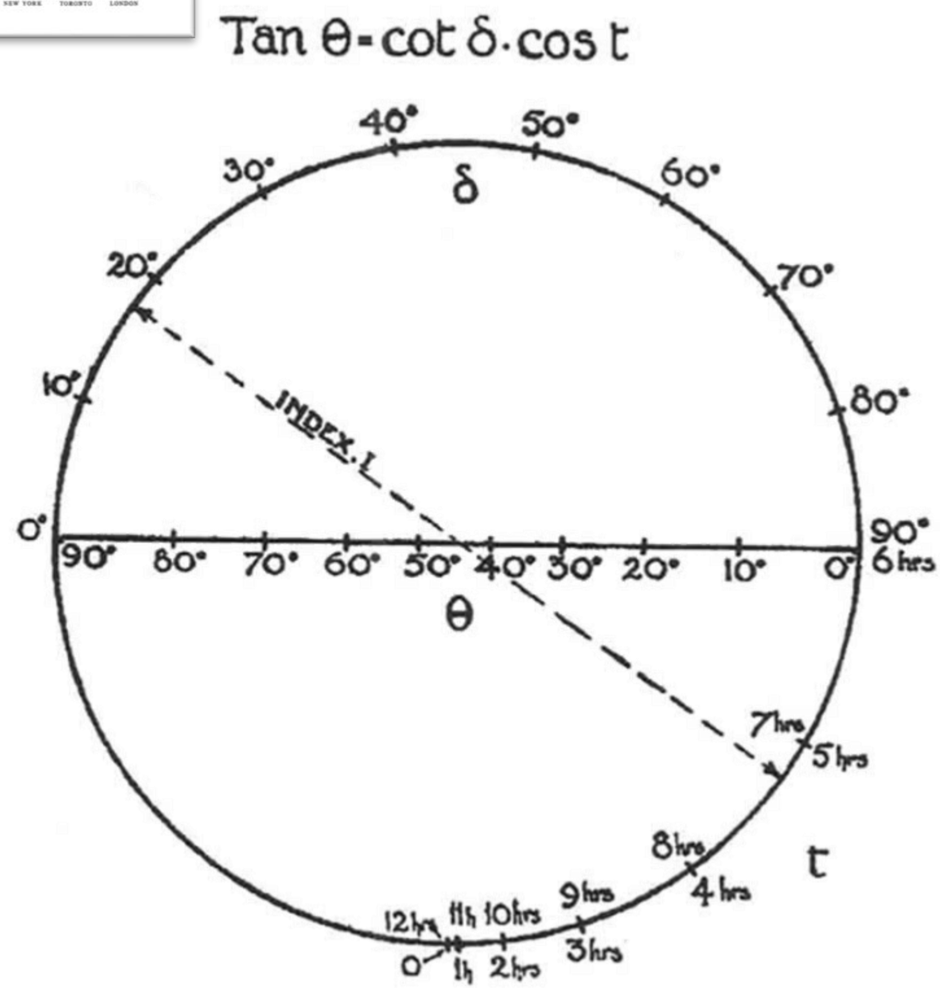
J. REGINALD JONES

AND

J. G. L. MICHEL

FIFTH EDITION

PITMAN PUBLISHING CORPORATION
NEW YORK TORONTO LONDON

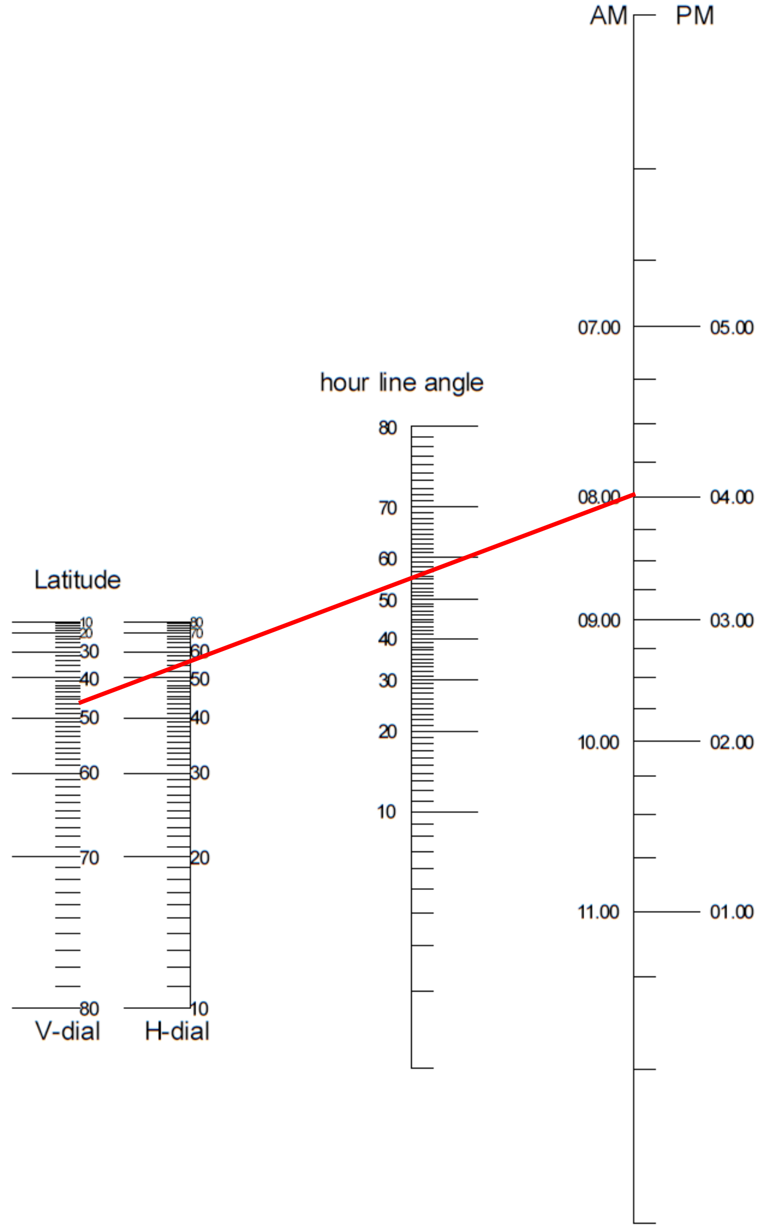


ILLUSTRATING SHADOWS

Ce site propose des nomogrammes permettant de concevoir un cadran solaire sans aucun calcul,

1. Les lignes horaires

$$\tan h = \cos \phi . \tan H$$



http://www.illustratingshadows.com/stats-nomogram.html

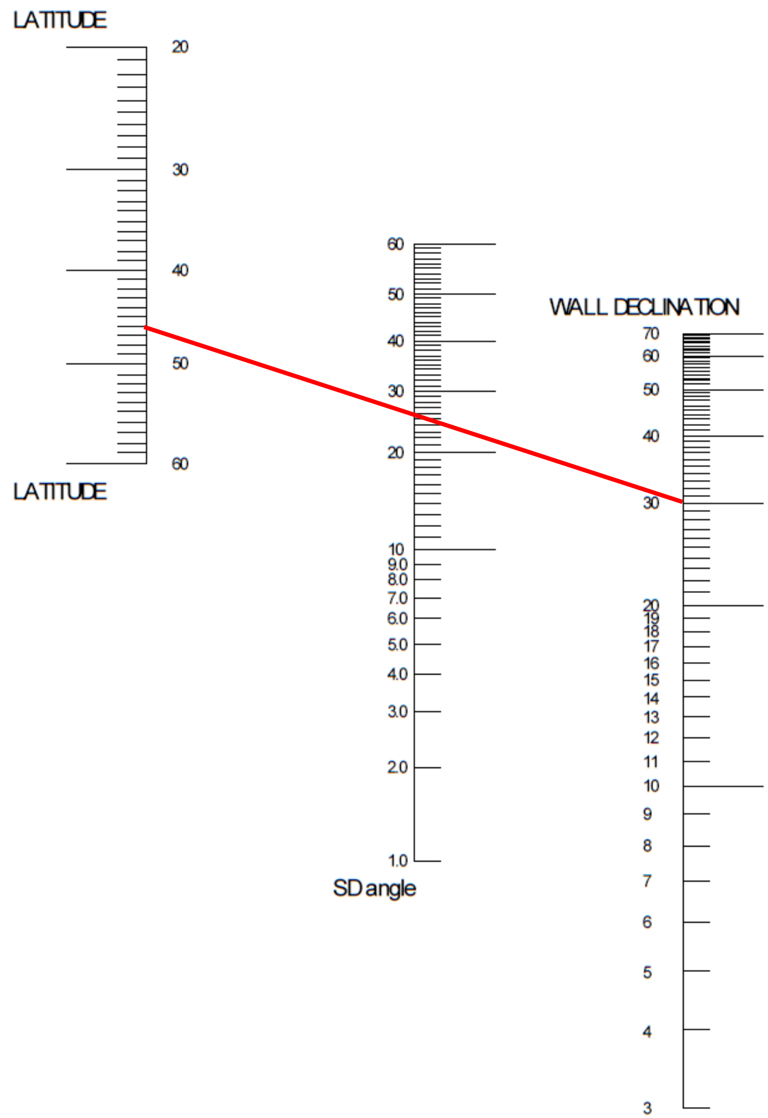
ILLUSTRATING SHADOWS

Ce site propose des nomogrammes permettant de concevoir un cadran solaire sans aucun calcul,

1. Les lignes horaires
   $$\tan h = \cos\phi . \tan H$$

2. Angle de la sous stylaire par rapport à la verticale
   $$\tan SD = \cot\phi . \sin D$$

http://www.illustratingshadows.com/stats-nomogram.html

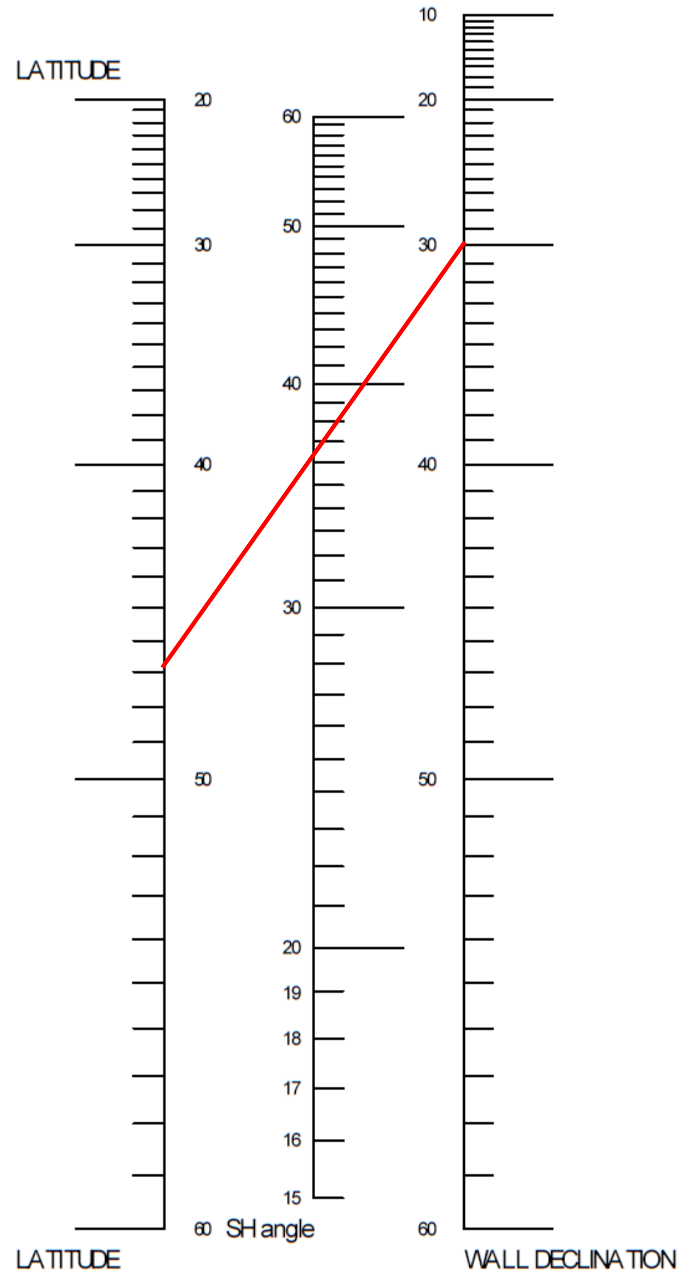


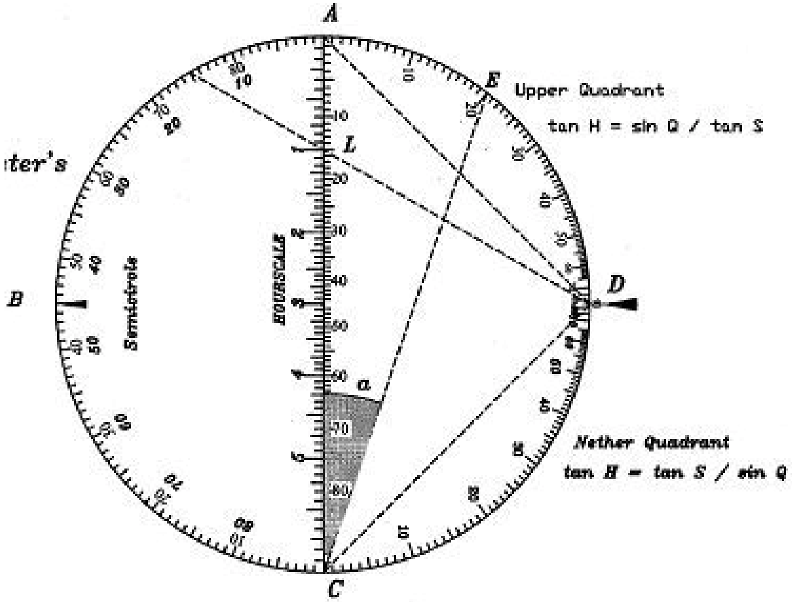
ILLUSTRATING SHADOWS

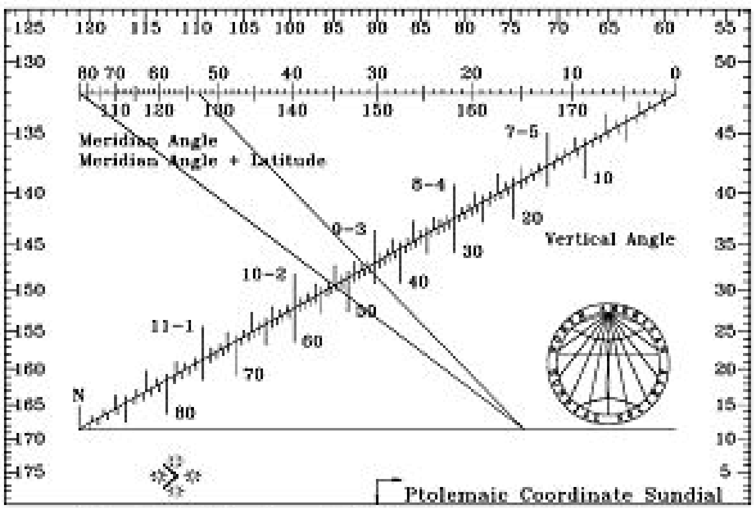
Ce site propose des nomogrammes permettant de concevoir un cadran solaire vertical déclinant sans aucun calcul,

1. Les lignes horaires
$$\tan h = \cos \phi . \tan H$$
2. Angle de la sous stylaire par rapport à la verticale
$$\tan SD = \cot \phi . \sin D$$
3. Angle entre le style et la sous stylaire
$$\sin SH = \cos D . \cos \phi$$

http://www.illustratingshadows.com/stats-nomogram.html



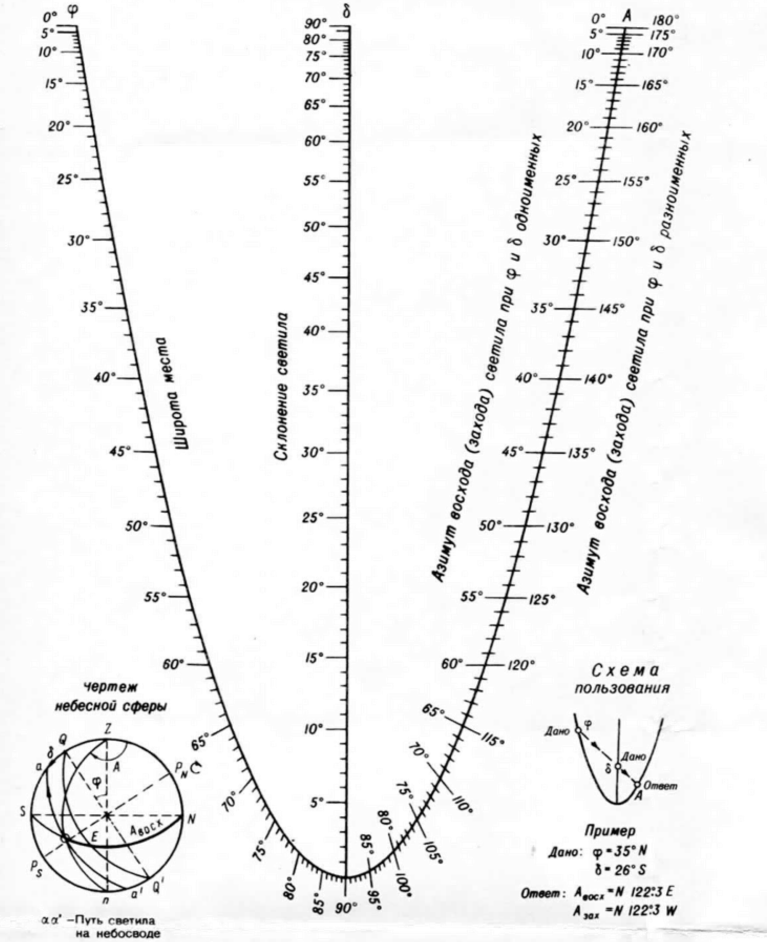




Latitude = 42 Meridian = 53.0 Vertical = 46.3 Time is 2:30

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ПОЛУКРУГОВОЙ
АЗИМУТ ИСТИННОГО ВОСХОДА И ЗАХОДА СВЕТИЛА

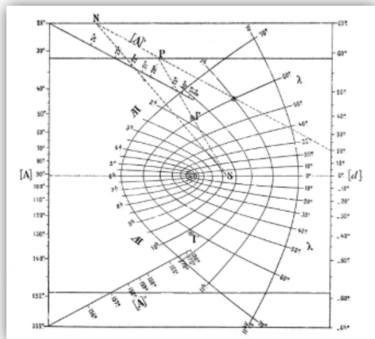


При наблюдениях с уровня моря центр светила расположен в плоскости истинного горизонта, если:

- высота нижнего края Солнца над видимым горизонтом равна 0,7 его видимого диска;
- высота верхнего края Луны близка к нулю;
- звезда или планета видна выше горизонта на полградуса (величина диска Солнца)

Вкладка 5 Заказ № 7095 1983г.

La nomographie solaire

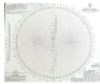


Le calcul graphique a été pendant plus d'un siècle une bonne alternative à la règle à calcul et aux tables logarithmiques. Il était utilisé dans tous les domaines employant de façon répétée les mêmes formules et où la précision du calcul n'était pas primordiale. Qu'elles soient appelées abaques ou nomogrammes, ces tables graphiques furent développées par des ingénieurs soucieux d'arriver rapidement au résultat sans passer par de fastidieux calculs. Leurs applications à l'astronomie sont très rares ce qui montre que leur précision n'était pas suffisante pour ce domaine. On trouve toutefois quelques exemples mettant en œuvre les formules de la trigonométrie sphérique et notamment celles utilisées par la gnomonique.

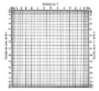
Bibliothèque

Livres traitants de la nomographie

1482-Quadratum Horarum Generale de Johannes Regiomontanus



1876-Azimuth Diagram de Patrick Weir



1899-Abaque de la distance sphérique par Maurice d'Ocagne

1904-Abaque pour la détermination des azimuts du lieutenant de vaisseau Perret

Exposé du 2 Juin 2019 à Beaune

http://substantifique.eu/nomographie solaire.html