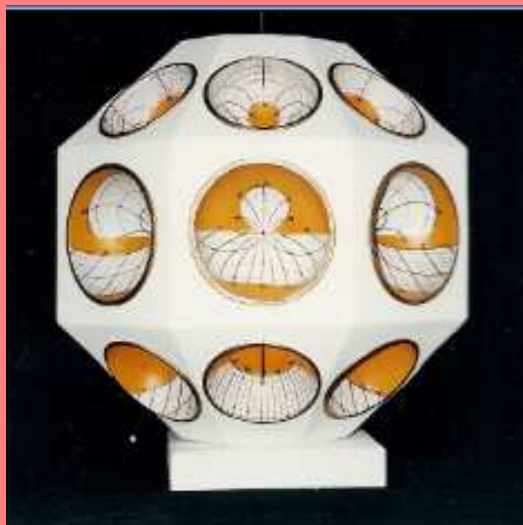


ETUDES DIVERSES HELIOHORAIRES

Livret N°4

L'interprétation des ombres



André
MARCHAL 2011

Sommaire

	N° page	N° slide
Sommaire		0
Introduction au Pros Pan Klima		0
PPK complément et petit correctif		1
Etude 2010 du Pros Pan Klima		2
Utilisation modèle n°1	2	4
Modèle n°2	3	5
Disque horaire des hauteurs 1995	5	7
Disque horaire des hauteurs 2000		9
Variante du cadran de Kircher	159	14
Les instruments héliohoraires		17
Photos de cadrans		42

PROS PAN KLIMA

par

A.MARCHAL

Cadran PROS PAN KLIMA

Extrait de la lettre de Monsieur André Marchal **datée du 6/10/2010**, traitant de ce sujet

<<Il y a une dizaine d'années, j'ai découvert le cadran Cadran PROS PAN KLIMA dans l'ouvrage réédité de RJ Rohr. Tel qu'il est présenté, je n'ai pas trouvé la solution pour son utilisation. Par contre, en couchant l'alidade sur le disque, on peut en faire un bon cadran de hauteur.

Ci-dessous une photo de ma réalisation expérimentale. Tout à l'origine, n'était-ce pas une erreur d'avoir adopté l'équerre perpendiculaire au disque? Car toutes les gravures conviennent parfaitement à mon interprétation>>.

Cadran PROS PAN KLIMA

Lettre de Monsieur André Marchal **datée 12/11/2010**, traitant de ce sujet

<<Je viens de retrouver une quatrième description du PROS PAN KLIMA dans une brochure de 1997 intitulé « Les cadrans solaires en Gascogne gersoise », de la Société Archéologique et Historique du Gers (page 166).

Les auteurs, Pierre Léontre et Christiane Acquier, l'ont rédigée avec l'aide de M. Claude Guicheteau de la SAF et des références à « l'histoire du temps » de J. Attali.

On nous décrit un PRO PAN KLIMA (et non Pros Pan Klima) découvert près de Bratslava en 1896 daté du II^{ème} siècle après J.C, suivit d'une explication nébuleuse de son utilisation avec un gnomon horizontal suspendu à l'ensemble vertical. Le texte déclare le cadran visible au musée des sciens à Oxford.

Curieusement un instrument identique présenté par H. Michel (N°1) a été découvert à Bratislava, mais daté du III^{ème} siècle avant J.C. Et plus curieusement, il serait visible à Oxford comme le modèle différent présenté par R. Rhor (N°2).

Tout ceci confirme mon idée de « transcriptions en transcriptions » et de déformations dans lesquels chacun pioche sans vérification. En ce qui concerne le Pros Pan Klima, il faudrait retrouver les exemplaire cités et les photographier très sérieusement.

Il est évident qu'à l'époque la division des jours n'était pas celle d'aujourd'hui et qu'il ne faut pas espérer retrouver des divisions horaires comme les miennes.

Le mot « heure » était inconnu comme unité de temps>>.

Note de Ph. Sauvageot (avril 2011):

Articles sur le Pros pan klima dans la revue Cadran-Info:

° N°22 d'octobre 2010 : sous le titre « A propos du cadran du Crêt-Châteard » page 136, vous trouverez des informations de monsieur Paul Gagnaire , un article« Le cadran solaire du Crêt Châtelard » par M. Bousquet, les remarques et commentaires de Denis Savoie.

° N° 23 de mai 2011 page : « Cadran antique "pros pan klima" par Cl. Guicheteau ».

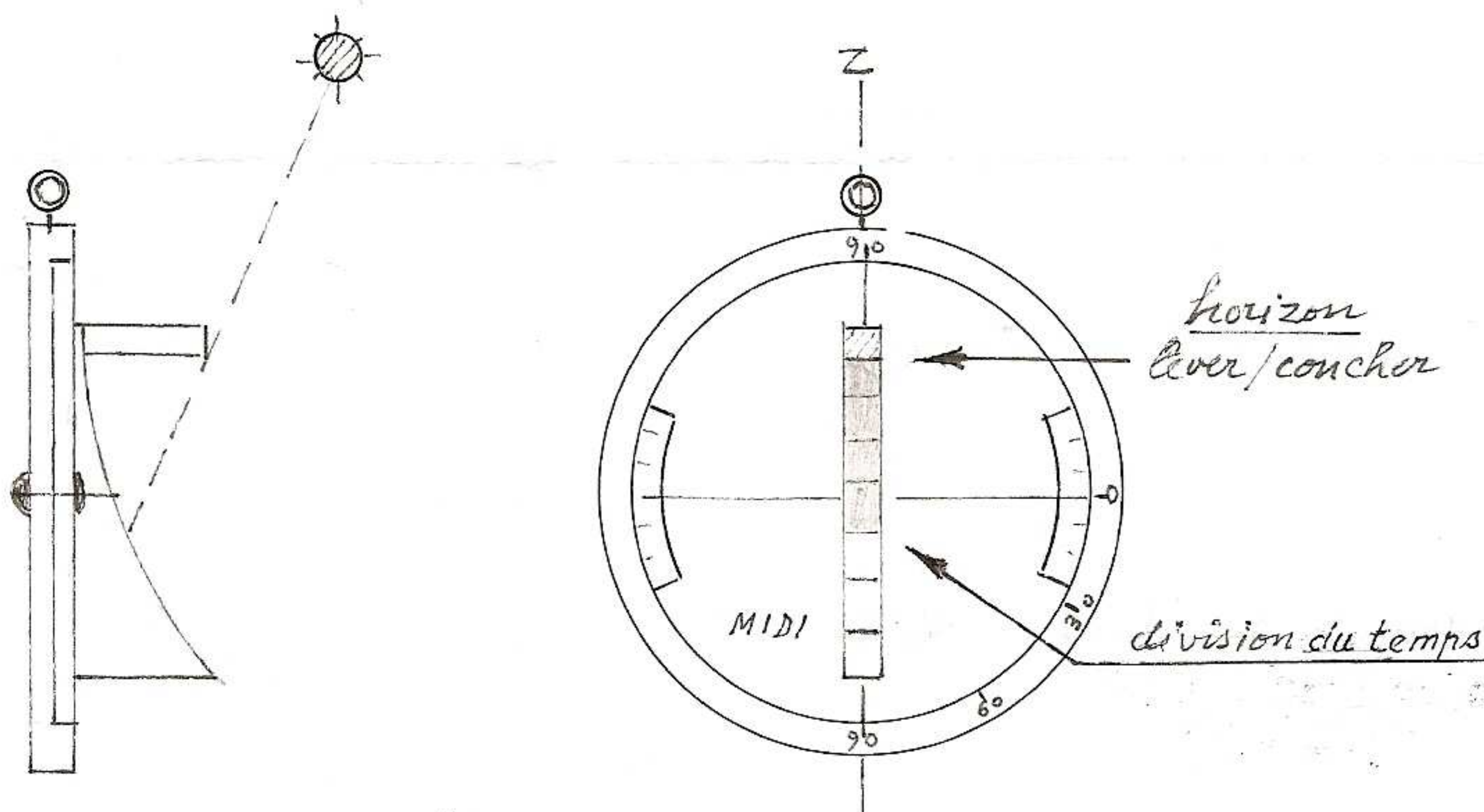
PROS PAN KLIMA

COMPLEMENT ET PETIT CORRECTIF A L'ETUDE A.MARCHAL

Pour aborder l'étude du P.P.K. il faut totalement oublier toutes nos pratiques horaires et imaginer l'époque de son utilisation .

L'Empire s'étendait du 60^{me} au 30^{me} parallèle avec un pouvoir fort , une Aristocratie , la plèbe et une armée puissante qui voyageait loin , et sans doute accompagnée de quelques érudits capables de mesurer une latitude et une hauteur solaire . Les armées se déplaçaient lentement et devaient s'adapter un peu aux us et coutumes des provinces traversées . Pour fractionner leur vie quotidienne les autochtones avaient des repères naturels et habituels que n'avaient pas les envahisseurs qui pouvaient alors avoir besoin d'un instrument capable de diviser la journée . La mesure de la hauteur du soleil avec le P.P.K. répondait à cette nécessité . Que la latitude , donc la hauteur soit différente dans un autre lieu n'avait aucune importance puisque l'armée n'y vivait pas .

Donc , contrairement à ce que j'ai précédemment écrit , on peut considérer le P.P.K. (N°1 et N°2) comme un astrolabe simplifié avec une fonction de cadran simplifié (à l'exception du N°3 qui n'a pas de gnomon ou qui a été perdu) .



MODELE N°1 Je maintiens la méthode proposée pour la mesure approchée de la latitude . A cela j'ajoute la façon de procéder pour obtenir la division d'une journée avec cet instrument : le disque vertical face au soleil et l'alidade dans le plan vertical avec le gnomon au zénith . Les déclinaisons tracées sont réservées uniquement à la mesure de la latitude . Cet instrument a donc 2 fonctions indépendantes .

A.M.

PROS PAN KLIMA

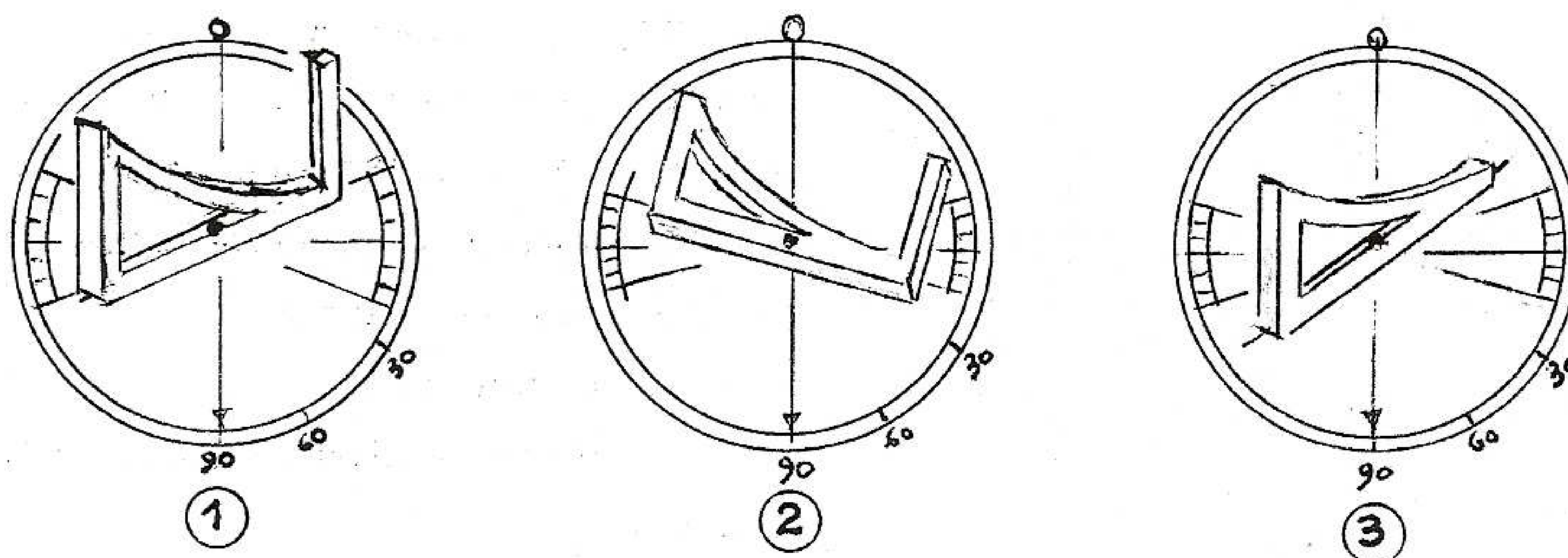
ETUDE

PAR A.MARCHAL

2010

A PROPOS DES CADRANS PROS PAN KLIMA

Le sujet m'intéresse car il y a 15 ans j'ai réalisé une version modifiée de cet instrument en m'inspirant des indications de R.ROHR dans son volume "les cadrans solaires" . Je connais 3 présentations différentes de cet objet toujours dessiné , jamais photographié : celle de S.GUYE et H.MICHEL dans "Mesures du temps et de l'espace"; celle de R.ROHR et celle de Crêt-Châtelard . Nous allons les étudier séparément et nous essaierons d'éclaircir les mystères qui les entourent . Surtout répondre à la question : sont-ce des cadrans solaires ?



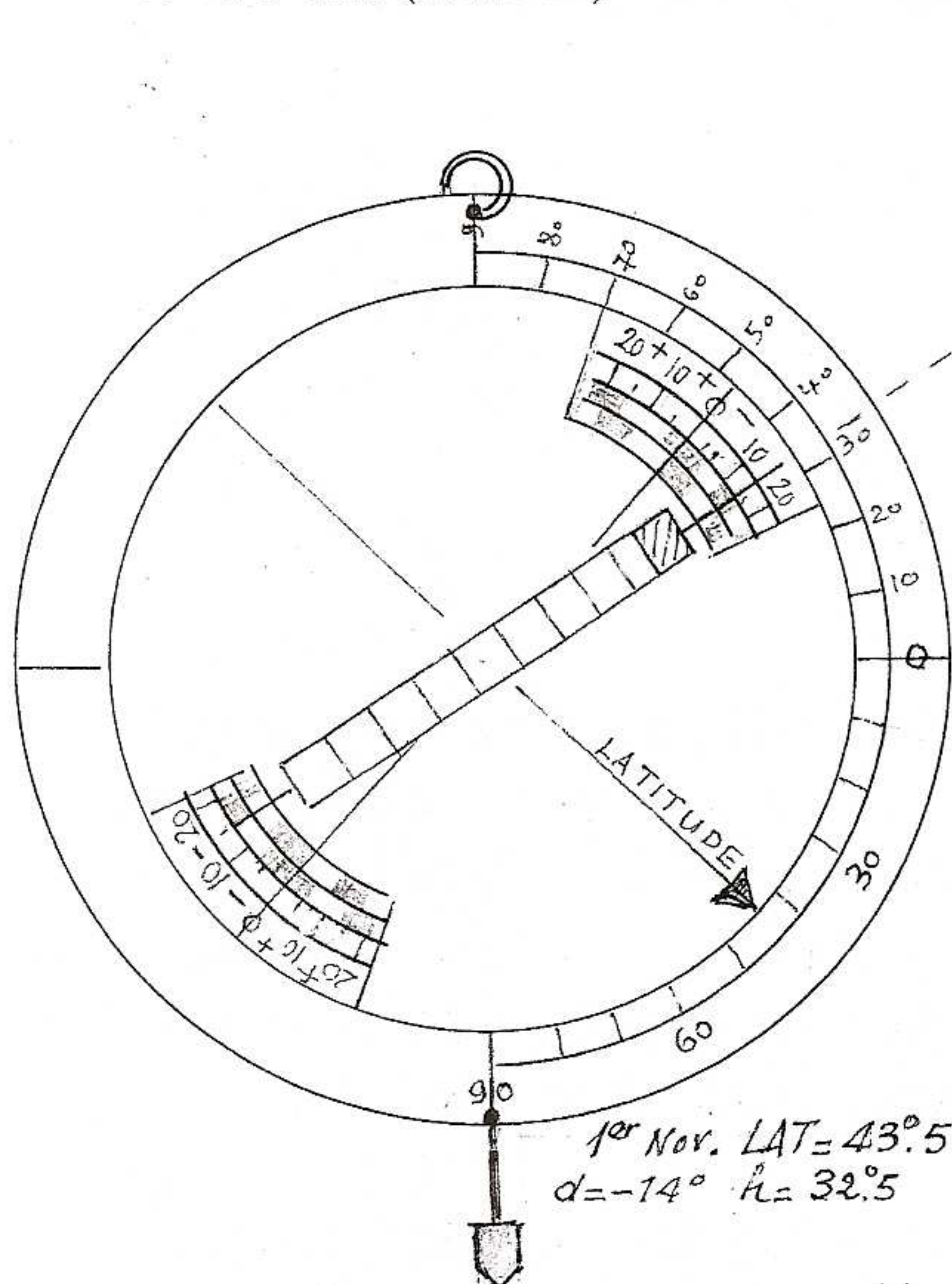
1- Présentation H.Michel . Cadran romain du IIIe s.av.J.C. découvert à Bratislava et reconnu basé sur le même principe que l'équerre égyptienne , donc pour mesurer des hauteurs , mais la barre horizontale a été remplacée par un secteur courbe pour plus de précision . Cette alidade est posée verticalement sur 2 limbes horizontaux superposés . Considéré comme " une montre de voyage " par les auteurs , je ne vois pas comment elle pouvait donner l'heure telle qu'elle est présentée . (nous verrons plus loin qu'il est cependant possible de l'obtenir) .

2- Présentation R.ROHR . Alidade identique à celle de H.Michel avec gnomon et l'hypoténuse incurvée , mais cette fois couchée sur le limbe . On nous donne le diamètre du disque (60,5mm) qui est suspendu à un anneau , donc vertical . Un exemplaire se trouverait à Oxford . L'alidade , réglée sur la déclinaison solaire du jour , est censée donner l'heure par l'ombre du gnomon . c'est inexacte , et je l'ai prouvé en fabriquant un modèle identique , mais en remplaçant les gravures de l'hypoténuse faites pour mesurer des hauteurs par des courbes horaires calculées pour $L=43^{\circ},5$. Mon instrument est donc un véritable cadran solaire , mais pour une seule latitude (voir ci-après les différents tracés pour $L=30^{\circ}$ et $L=60^{\circ}$) .

3- Modèle Crêt-Châtelard . Dessin presque identique à celui de H.Michel , mais sans le gnomon , ce qui supprime la mesure des hauteurs . Alors , à quoi sert-il ? Pour y répondre je vais maintenant expliquer de quelle façon j'ai utilisé le modèle n°1 .

UTILISATION DU MODELE N°1

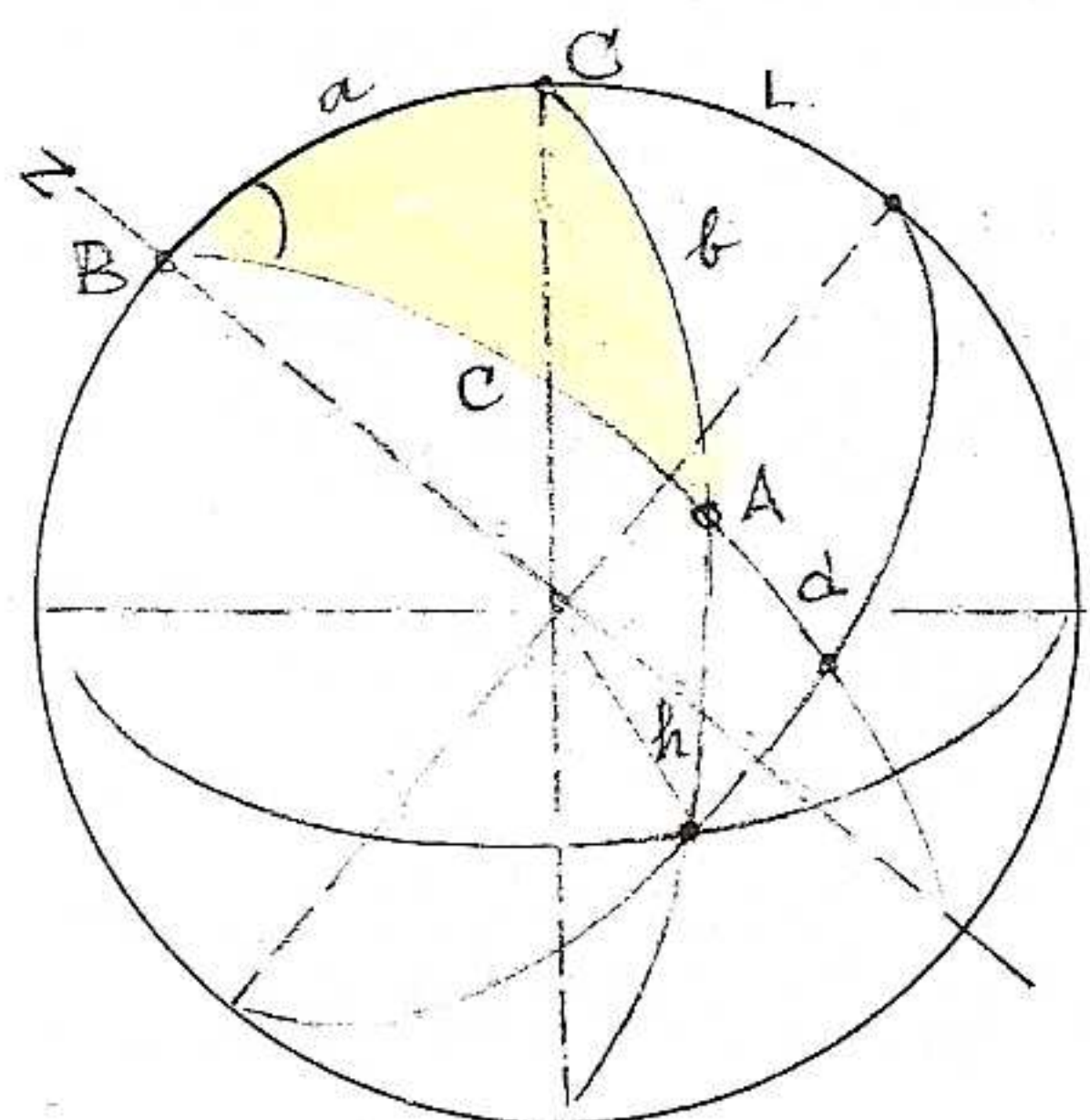
Pour tester son utilisation j'ai fabriqué une copie . Donc , imaginons que nous sommes au Sahara dans un camp perdu , sans heure , mais connaissant la date et avec mon petit instrument tout neuf (bien que datant de 2000 ans). Je veux connaître ma latitude et je sais que cela est possible avec ce modèle qui me donnera la déclinaison solaire du jour ainsi que les hauteurs nécessaires pour appliquer la formule suivante : $\boxed{\text{LAT.} = 90^\circ - \text{hs à 12H} + \text{décli}}$. Mais pour cela je dois d'abord repérer le passage du soleil à 12H (méridien) . L'échelle des hauteurs de l'alidade va pouvoir me servir .



Au jour "J" quelques heures avant midi j'installe mon instrument avec le limbe à l'horizontal pour prendre la hauteur du soleil et je repère la direction . Quelque temps après 12H je guette le passage du soleil à la hauteur du matin et je note la direction . la bissectrice me donnera le méridien recherché (méthode connue).

Jour "J"+1 Je règle l'alidade sur la décl. du jour et lorsque le soleil passe au méridien je mesure sa hauteur avec l'instrument suspendu verticalement et l'ensemble petit disque-alidade dirigé vers le soleil . La flèche sur le petit limbe donnera la latitude recherchée sur le grand limbe . Si l'on désire une déclinaison solaire précise , on peut l'obtenir sur le grand disque .

Nous voyons que ce type d'instrument est fait pour mesurer des latitudes , les hauteurs sont facultatives et peuvent être connues plus simplement . Le modèle de Crêt-Châtelard , malgré l'absence de gnomon peut avoir la même fonction , il est bien de la famille des PROS PAN KLIMA qui sont des astrolabes simplifiés et non-pas des cadrans solaires . MAIS on peut toujours avec le modèle n°2 , remplacer l'échelle des hauteurs par un tracé horaire pour 1 latitude (voir la démonstration Marchal) , pour les autres modèles , on aura l'heure en passant par la résolution d'un triangle sphérique con-



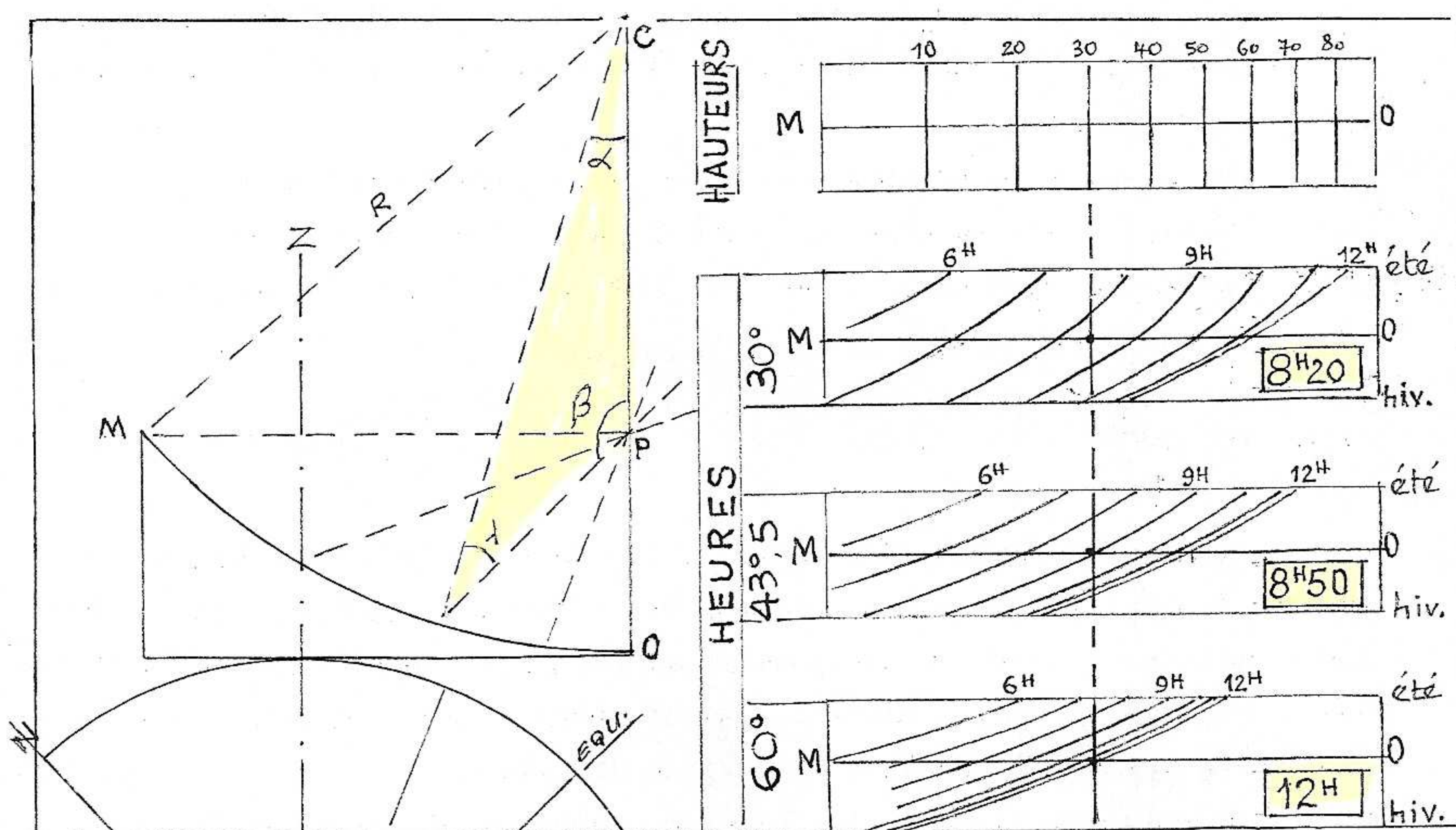
naissant la latitude (avec le Pros Pan Klima) , la hauteur solaire et la déclinaison , mais non en lecture directe comme le modèle n°2 qui a l'alidade plaquée au limbe .

$$\boxed{\cos AH = \cos b - \cos c \cdot \cos a / \sin c \cdot \sin a}$$

$$a = 90^\circ - L \quad b = 90^\circ - h \quad c = 90^\circ - d$$

MODELE N°2 (avec arceau fixe et double disque)
TRACE HORAIRE A DIFFERENTES LATITUDES

Sachant que ce modèle ne peut supporter qu'une seule grille horaire, j'ai voulu connaître les variations de tracés éventuels pour : $L=30^\circ$; $L=43^\circ,5$; $L=60^\circ$



		R = 75.							PC = 49.							$B = h + 90^\circ$						
		21/6							EQUINOXES							22/12						
		12 ^H	11	10	9	8	7	6	12 ^H	11	10	9	8	7	6	12 ^H	11	10	9	8	7	
30°	β	174	165	152	140	126	114	102	150	147	138 ⁶	127 ⁸	115 ⁷	103		126	125	119 ⁵	111	102	90 ⁵	
	α	2	5.3	10.1	15.2	22.	29.4	38.3	11.	12.2	15.8	21.1	28.2	37.5		22.	22.6	25.8	31.4	38.3	48.7	
	arc	2.6	7.	13.2	20.	28.8	38.5	50.1	14.4	16.	20.7	27.6	36.9	49.		28.8	29.5	33.8	41.	50.1	63.7	
43.5	β	159 ⁹	156 ⁴	148.2	138.1	127.3	116.5	105 ⁹	136 ⁵	134 ⁵	128 ⁵	120 ⁹	113.3	100.8		113.1	111.7	107.6	101.4	93.4	/	
	α	7.1	8.4	11.7	16.	21.4	27.7	35.2	16.8	17.7	20.5	25.	31.2	39.3		30.	30.9	33.9	38.8	45.9	/	
	arc	9.3	11.	15.3	20.9	28.	36.3	46.	22.	23.2	26.8	32.7	40.8	51.4		39.3	40.4	44.4	50.8	60.	/	
60°	β	143.	142.	138.	132.	125.	118.	110.	120.	118 ⁹	115.7	110.7	104.5	97.4		113.1	111.7	107.6	101.4	93.4	/	
	α	13.8	14.3	16.	19.	22.6	26.8	32.1	25.5	26.2	28.2	31.6	36.3	42.2		42.6	44.	46.3	/	/	/	
	arc	18.	18.7	21.	24.9	29.6	35.	42.	33.4	34.3	36.9	41.4	47.5	55.2		55.8	57.6	60.6	/	/	/	

Nous voyons que les écarts horaires entre les 3 latitudes sont importants avec une même hauteur sur l'alidade. Le tracé à une latitude choisie ne sera valable que pour $\pm 2^\circ$ de part et d'autre de celle-ci.

4

LA DECLINAISON SOLAIRE (ou inclinaison de l'écliptique) DU DEBUT DE L'ERE A NOS JOURS .

Il est reconnu qu'elle peut varier entre $21^{\circ}59'$ et $24^{\circ}36'$ en 3.000 ans (Astronomie Bordas) , ce qui donnerait une moyenne de $3''$ par an , avec des écarts importants puisque entre 1800 ($23^{\circ}27'55''$) et 1968 ($23^{\circ}26'36'',4$) la variation est en diminution $0'',5$ par an (Astronomie Populaire de Camille flammarion) . La nutation est pour nous négligeable .

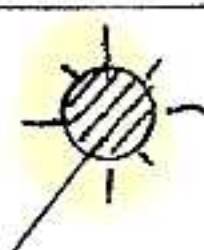
Donc , en ce qui concerne les cadrans anciens grossièrement gravés ou autres objets , l'écart de déclinaison avec les valeurs actuelles est négligeable , surtout pour des mesures faites avec un disque suspendu . An 2000 $d = 23^{\circ}26'$; an 200 $d = 23^{\circ}41'$, écart $15'$.

COMMENTAIRES

Que ces instruments aient été destinés uniquement à la détermination de la latitude se conçoit très bien pour des nomades il y a 2000 ans . Pour eux , une position même approximative avait plus d'importance que l'heure , qu'ils pouvaient estimer facilement . A la même époque , le calcul de la circonférence de la Terre par Eratosthène nous prouve que la recherche de la latitude était déjà pratiquée .

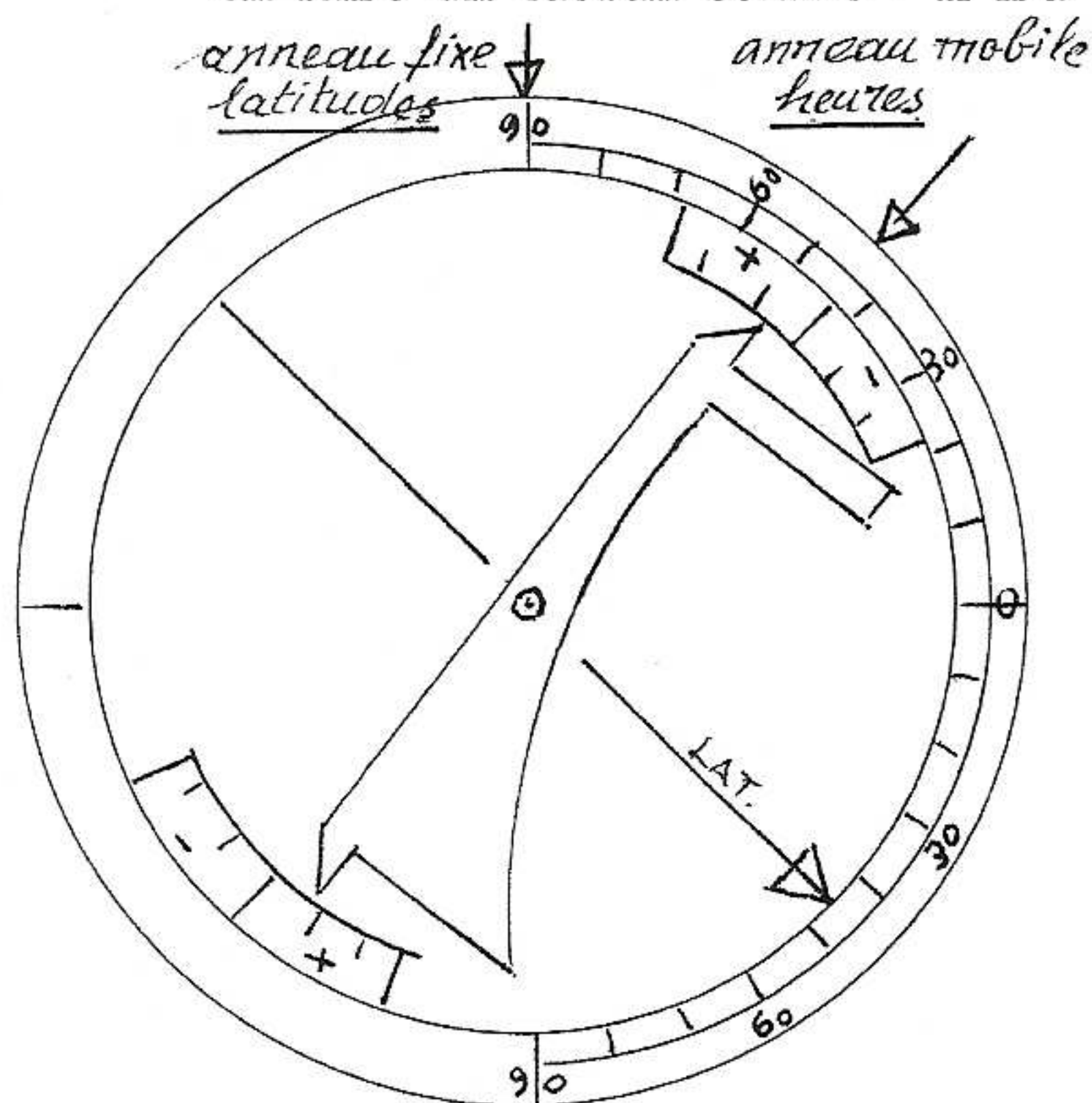
Je suis étonné de ne trouver dans les publications que des dessins (très ressemblants) du PROS PAN KLIMA . Aucune photographie alors qu'on en signale à Bratislava , à Oxford , à Roanne etc...

A.MARCHAL 2010

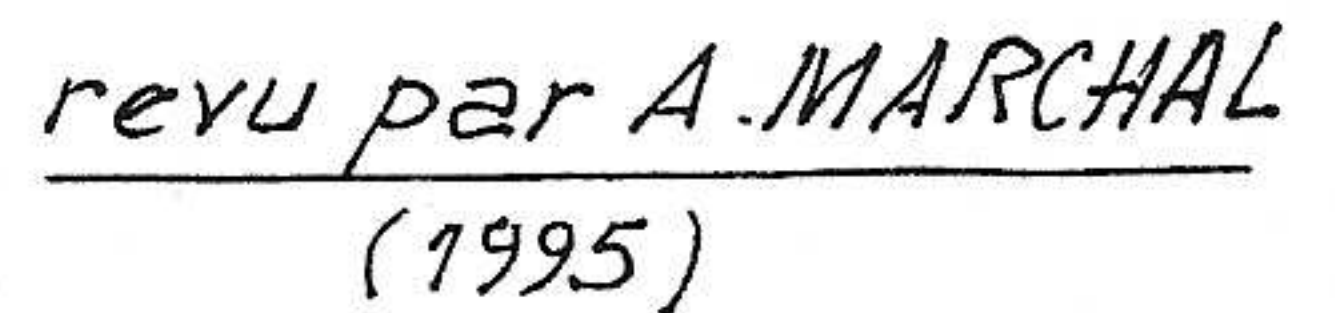


NOTE . Ci-après vous avez le PROS PAN KLIMA N°2 revu par A.Marchal pour en faire un cadran solaire . Il n'a qu'un seul disque , donc il ne pourra pas mesurer la latitude et perd ainsi sa dénomination première . Par contre , avec plusieurs points de suspensions il devient cadran soleil universel , tout en ayant 1 seul tracé horaire .

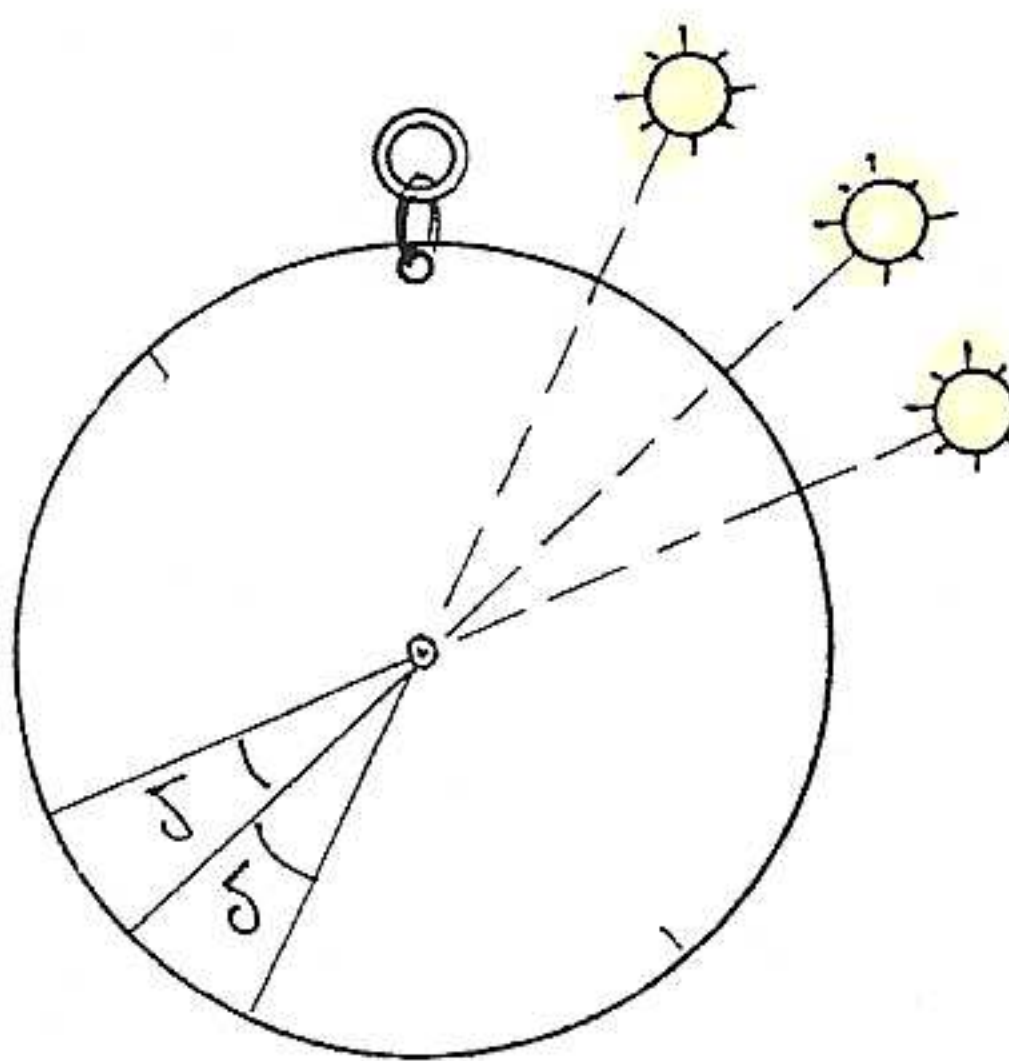
On peut mieux faire encore en ajoutant un grand disque à ce modèle , il pourra aussi mesurer les latitudes .



۷



Principe . Depuis une latitude donnée on pointe sur une surface courbe l'ombre d'un marqueur aux différentes hauteurs du soleil dans la journée . Mais il faut savoir que pour une latitude et une heure données la hauteur du soleil varie tout au long de l'année . Cette variation est due à 2 causes : la déclinaison solaire change chaque jour en passant de $+23^{\circ}$ à -23° ; les distances angulaires entre chacune des heures varient au cours de l'année (variation des hauteurs mais aussi des azimuts) . Il est donc nécessaire de pointer les hauteurs aux équinoxes et aux solstices sur des lignes différentes . En joignant les pointés de même numérotation on obtient des lignes horaires inclinées . Si on traite le réglage de la déclinaison hors de la surface courbe , les lignes horaires seront moins inclinées et plus précises



- un disque pesant avec l'anneau porteur pincé à une latitude donnée et le tracé des déclinaisons solaires de part et d'autre de l'équateur (équinoxes) .

- une alidade un peu particulière , couchée sur le disque , faite d'un marqueur et d'une réglette courbe pour les heures , qui parcourt les divisions de la déclinaison solaire .

Pour bien faire apparaître les variations de hauteurs solaires par rapport à la latitude , à la date et à l'heure , nous avons établi 2 tableaux de hauteurs . Ensuite nous verrons la meilleure façon d'appliquer le principe décrit , puis nous établirons les tableaux de calculs avant de tracer la grille étroite des heures pour la règle courbe .

EQUINOXES		variation des hauteurs solaires suivant la latitude								
		$\cos dz = \sin \text{colat} \cdot \cos A \quad ht = 90^\circ - dz$								
LAT		12H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H
30°	60°	56,8	48,6	37,8	25,7	13°	0			
40°	50°	47,7	41,5	32,8	22,5	11,4	0			
43°30	46,5	44,5	38,9	30,9	21,3	10,8	0			
50°	40°	38,4	33,8	27°	18,7	9,6	0			
60°	30°	28,9	25,7	20,7	14,5	7,4	0			
H/12h =	1	0,95	0,83	0,66	0,46	0,23	0			

LAT = 43°,5		variation des hauteurs solaires suivant la date								
	δ	12H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H
21/6	+23,4	69,9	66,4	58,2	48,1	37,3	26,5	15,9	5,8	-3.4
Equi.	0	46,5	44,5	38,9	30,9	21,3	10,8	0		
22/12	-23,4	23,1	21,7	17,6	11,4	3,4	-5,8			

La courbure de l'alidade évite les tg trop fortes (∞ à 12h)

Recherche du rayon (si non connu) $R = c^2 / 8f + f/2$

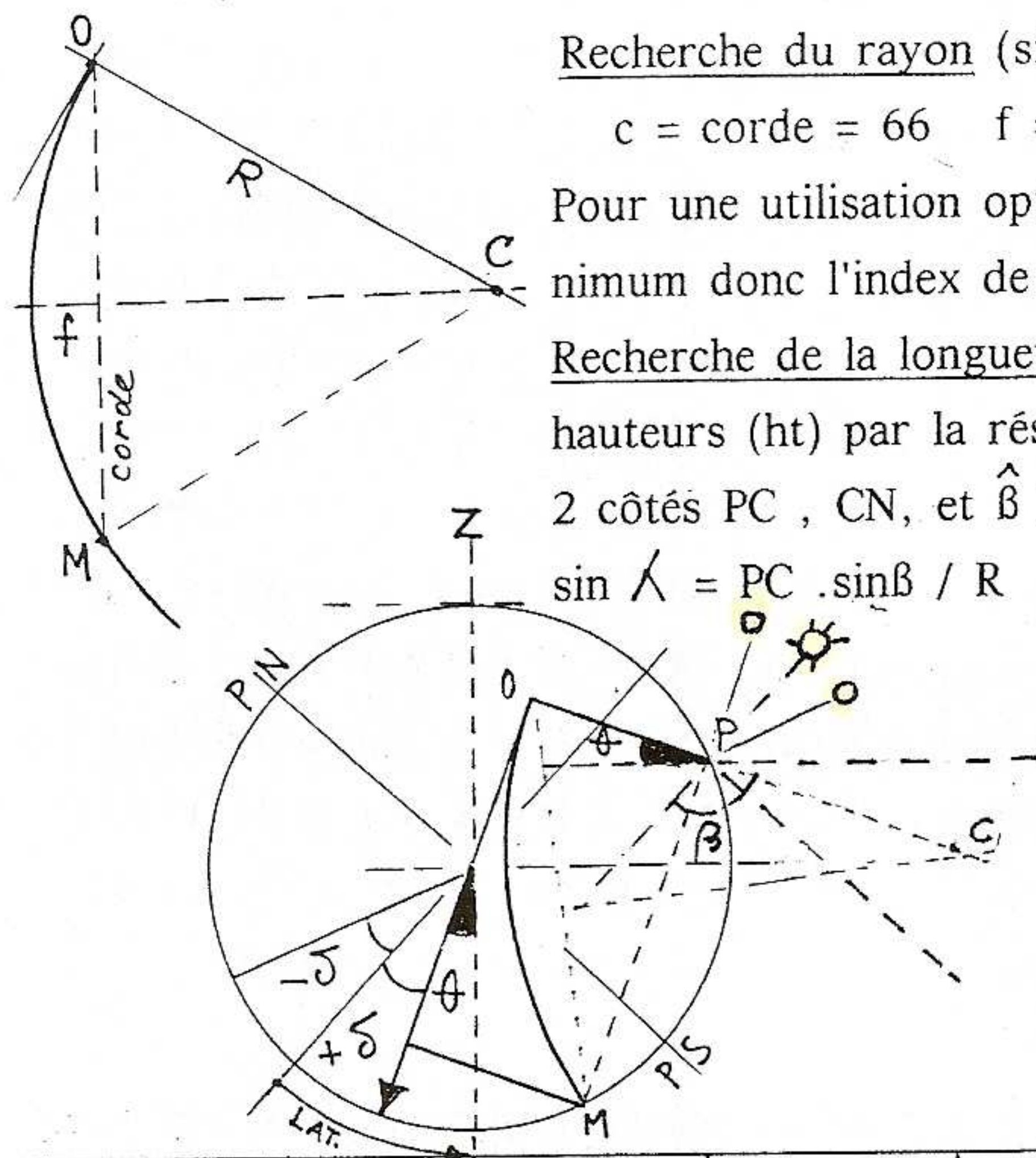
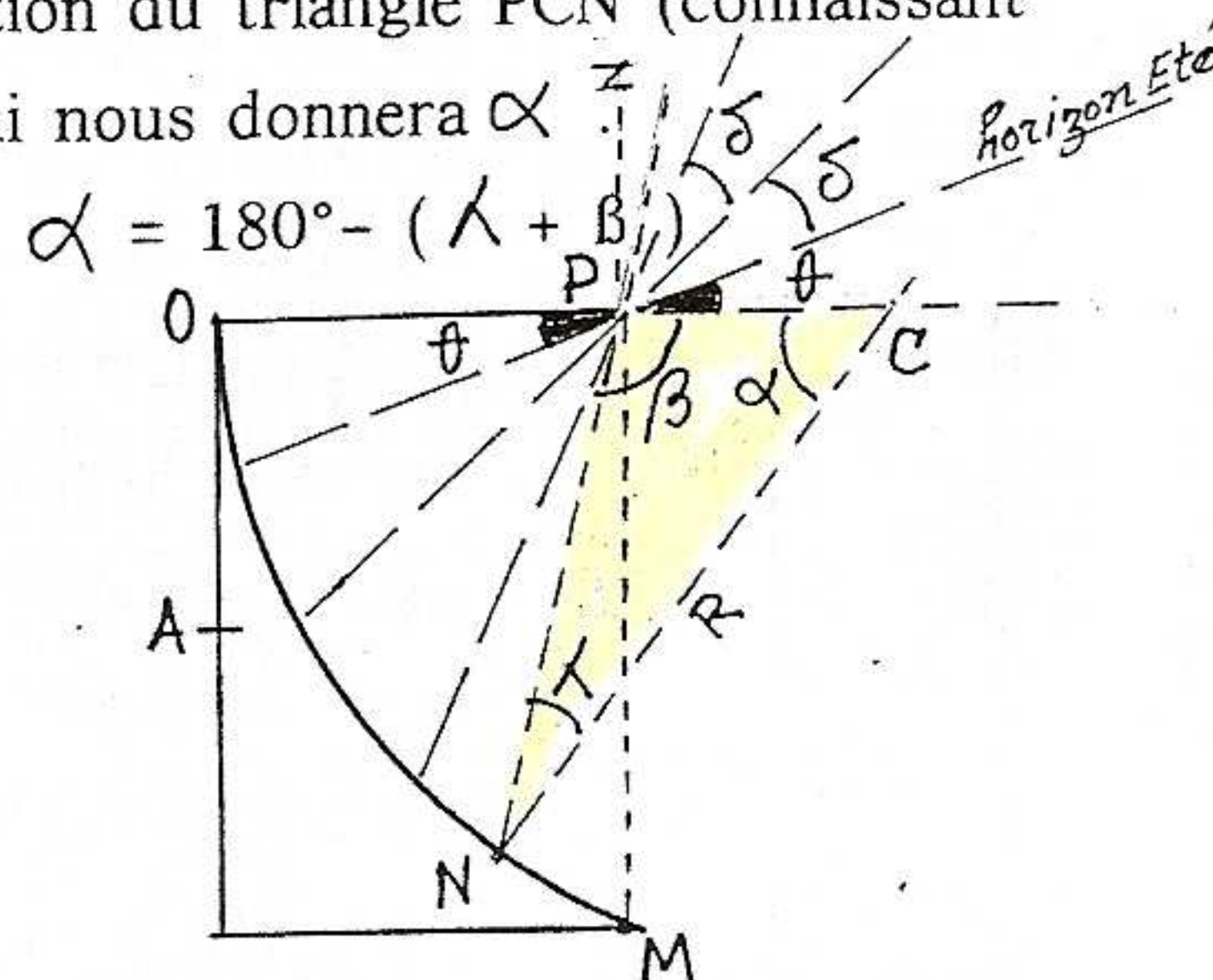
$$c = \text{corde} = 66 \quad f = \text{flèche} = 7,5 \quad R = 75$$

Pour une utilisation optimale de la courbure, θ doit être minimum donc l'index de l'alidade sur la décl. du 21/6

Recherche de la longueur des arcs connaissant OP, R, et les hauteurs (ht) par la résolution du triangle PCN (connaissant

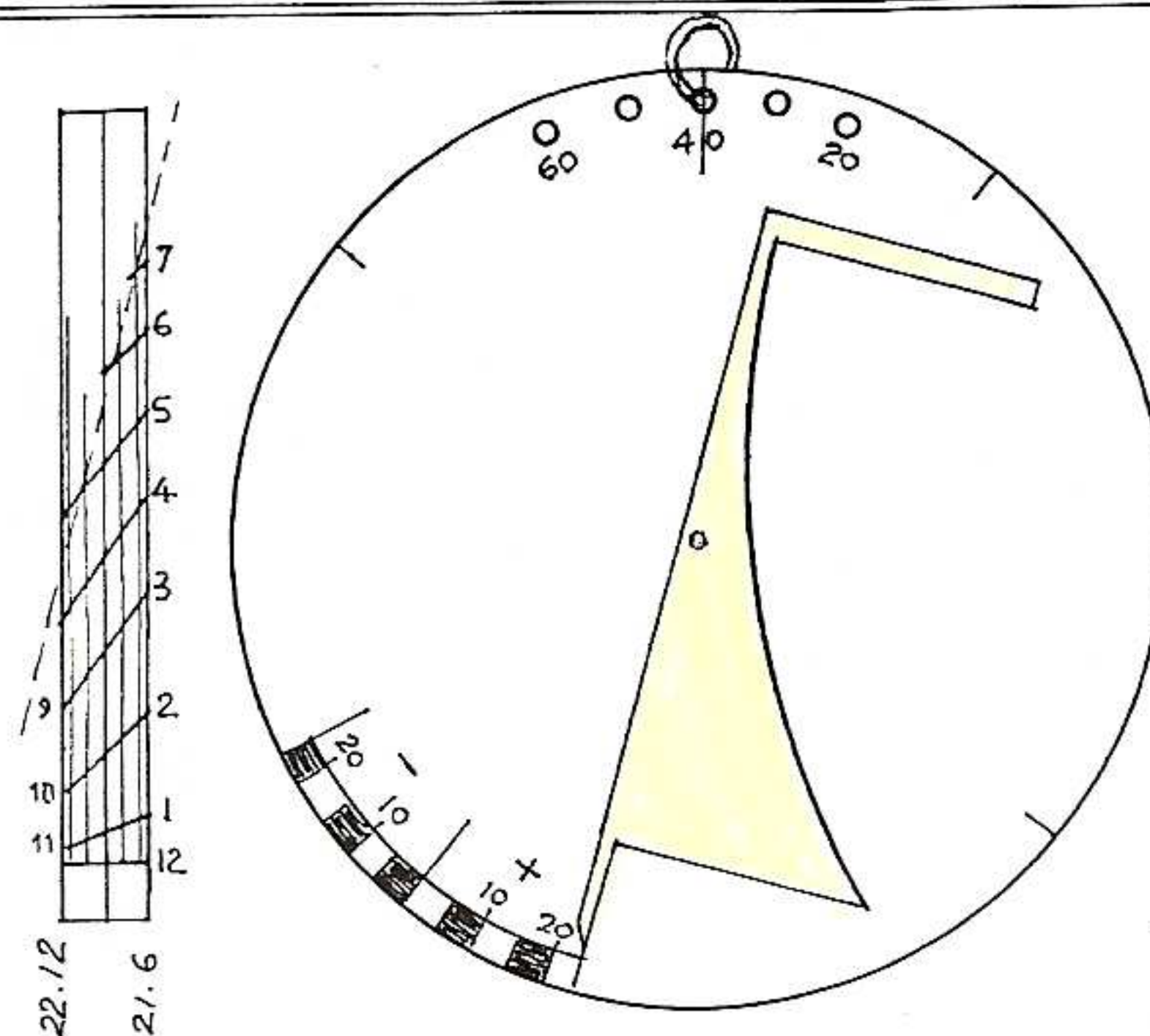
2 côtés PC, CN, et $\hat{\beta}$) qui nous donnera α

$$\sin \angle = PC \cdot \sin \beta / R$$



$\ominus = \text{LAT} - 23,4 = 20,1$		$R = 75$	$OP = 26$	$PC = R - OP = 49$	$O,0174 R = 1,305$			
EQUINOXES		Correction de hauteur = $\ominus + \delta = 20,1 + 23,4 = +43,5$						
Heures	12H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H
hc=haut. corrigée	90	88	82,4	74,4	64,8	54,3	43,5	
$\beta = 180^\circ - hc$	90	92	97,6	105,6	115,2	125,7	136,5	
$\sin \angle = (PC \cdot \sin \beta) / R$	40,8	40,8	40,4	39	36,2	32	26,7	
$\alpha = 180^\circ - (\angle + \beta)$	49,2	47,2	42	35,4	28,6	22,3	16,8	
$\widehat{ON} = O,0174 R \cdot \alpha$	62,2	61,6	54,8	46,2	37,3	29,1	21,9	
HIVER 22/12		Correction de hauteur = $20,1 + 46,9 = +67$						
hc=haut. corrigée	90	88,7	84,6	78,4	70,4	61,2		
$\beta = 180 - hc$	90	91,3	95,4	101,6	109,6	118,8		
$\sin \angle = (PC \cdot \sin \beta) / R$	40,8	40,8	40,6	39,8	38	34,9		
$\alpha = 180^\circ - (\angle + \beta)$	49,2	47,9	44	38,6	32,4	26,3		
$\widehat{ON} = 0,0174 R \cdot \alpha$	64,2	62,5	57,4	50,4	42,3	34,3		

DISQUE HORAIRE DES HAUTEURS SOLAIRES



2000
PROS PAN KLIMA
revu par A. MARCHAL

Inspiré du croquis d'un cadran de hauteur romain, ce modèle est très proche de l'anneau horaire avec oeillet mobile.

Principe. Depuis une latitude donnée on pointe sur une surface courbe l'ombre d'un marqueur aux différentes hauteurs du soleil dans la journée. Mais il faut savoir que pour une latitude et une heure données la hauteur du soleil varie tout au long de l'année. Cette variation est due à 2 causes : la déclinaison solaire change chaque jour en passant de $+23^\circ$ à -23° ; les distances angulaires entre chacune des heures varient au cours de l'année (variation des hauteurs mais aussi des azimuts). Il est donc nécessaire de pointer les hauteurs aux équinoxes et aux solstices sur des lignes différentes. En joignant les pointés de même numérotation on obtient des lignes horaires inclinées. Si on traite le réglage de la déclinaison hors de la surface courbe, les lignes horaires seront moins inclinées et plus précises.

Description.

- un disque pesant avec l'anneau porteur pincé à une latitude donnée et le tracé des déclinaisons solaires de part et d'autre de l'équateur (équinoxes).
- une alidade un peu particulière, couchée sur le disque, faite d'un marqueur et d'une règle courbe pour les heures, qui parcourt les divisions de la déclinaison solaire.

La lecture horaire se fait en réglant l'alidade sur la date (ou déclinaison) et en tournant la règle gravée face au soleil. La ligne verticale la plus proche de la date traversée par l'ombre donnera l'heure cherchée.

REALISATION

Pour bien faire apparaître les variations de hauteurs solaires par rapport à la latitude, à la date et à l'heure, nous avons établi 2 tableaux de hauteurs. Ensuite nous verrons la meilleure façon d'appliquer le principe décrit, puis nous établirons les tableaux de calculs avant de tracer la grille étroite des heures pour la règle courbe.

EQUINOXES		variation des hauteurs solaires suivant la latitude								
		$\cos dz = \sin \text{colat} \cdot \cos A \quad \text{ht} = 90^\circ - dz$								
LAT		12H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H
30°	60°		56,8	48,6	37,8	25,7	13°	0		
40°	50°		47,7	41,5	32,8	22,5	11,4	0		
43°30	46,5		44,5	38,9	30,9	21,3	10,8	0		
50°	40°		38,4	33,8	27°	18,7	9,6	0		
60°	30°		28,9	25,7	20,7	14,5	7,4	0		
H/12h =	1		0,95	0,83	0,66	0,46	0,23	0		
LAT = 43°,5		variation des hauteurs solaires suivant la date								
	δ	12H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H
21/6	+23,4	69,9	66,4	58,2	48,1	37,3	26,5	15,9	5,8	-3,4
Equi.	0	46,5	44,5	38,9	30,9	21,3	10,8	0		
22/12	-23,4	23,1	21,7	17,6	11,4	3,4	-5,8			

La courbure de l'alidade évite les tg trop fortes (∞ à 12h)

Recherche du rayon (si non connu) $R = c^2 / 8f + f/2$

$$c = \text{corde} = 66 \quad f = \text{flèche} = 7,5 \quad R = 75$$

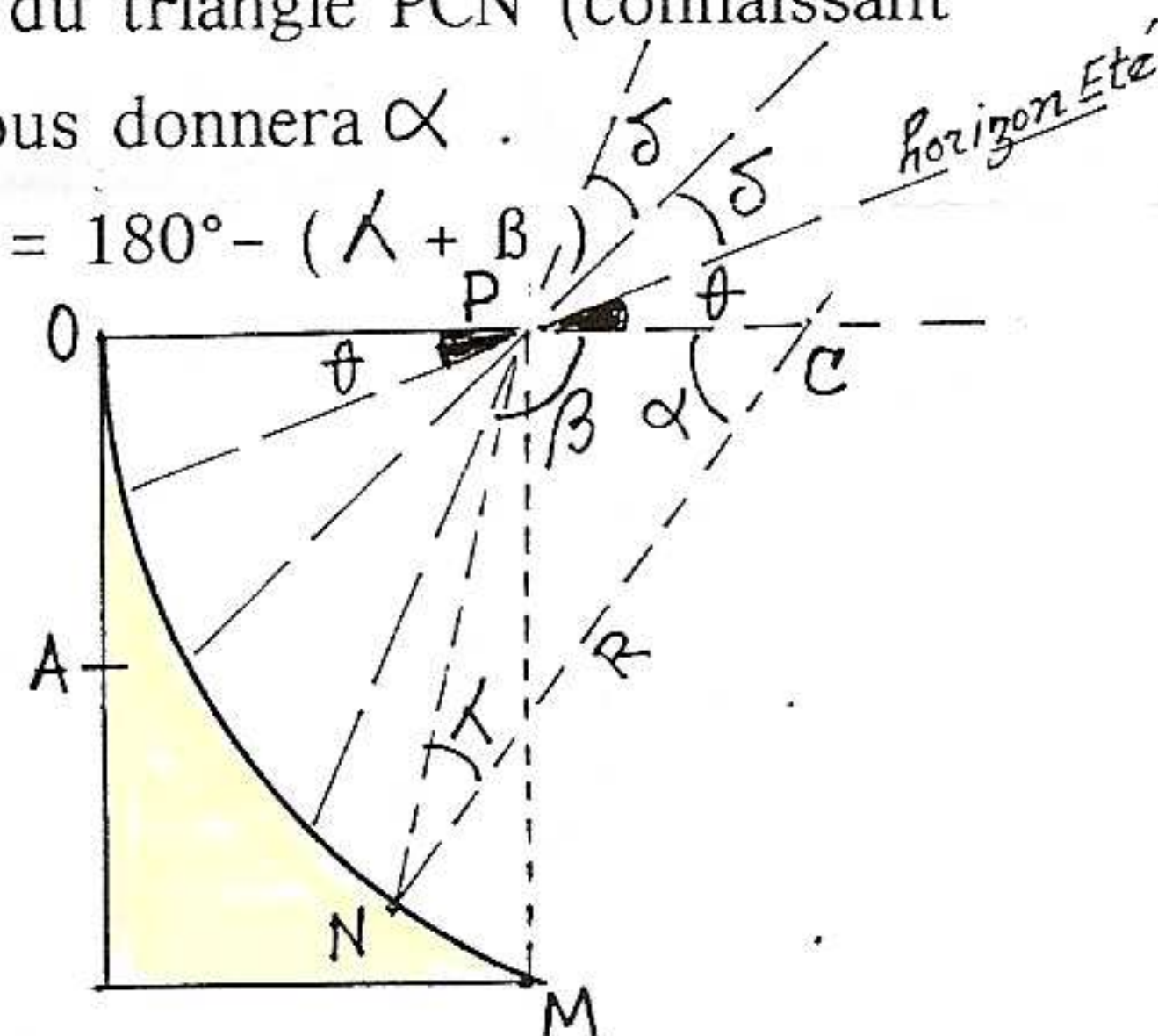
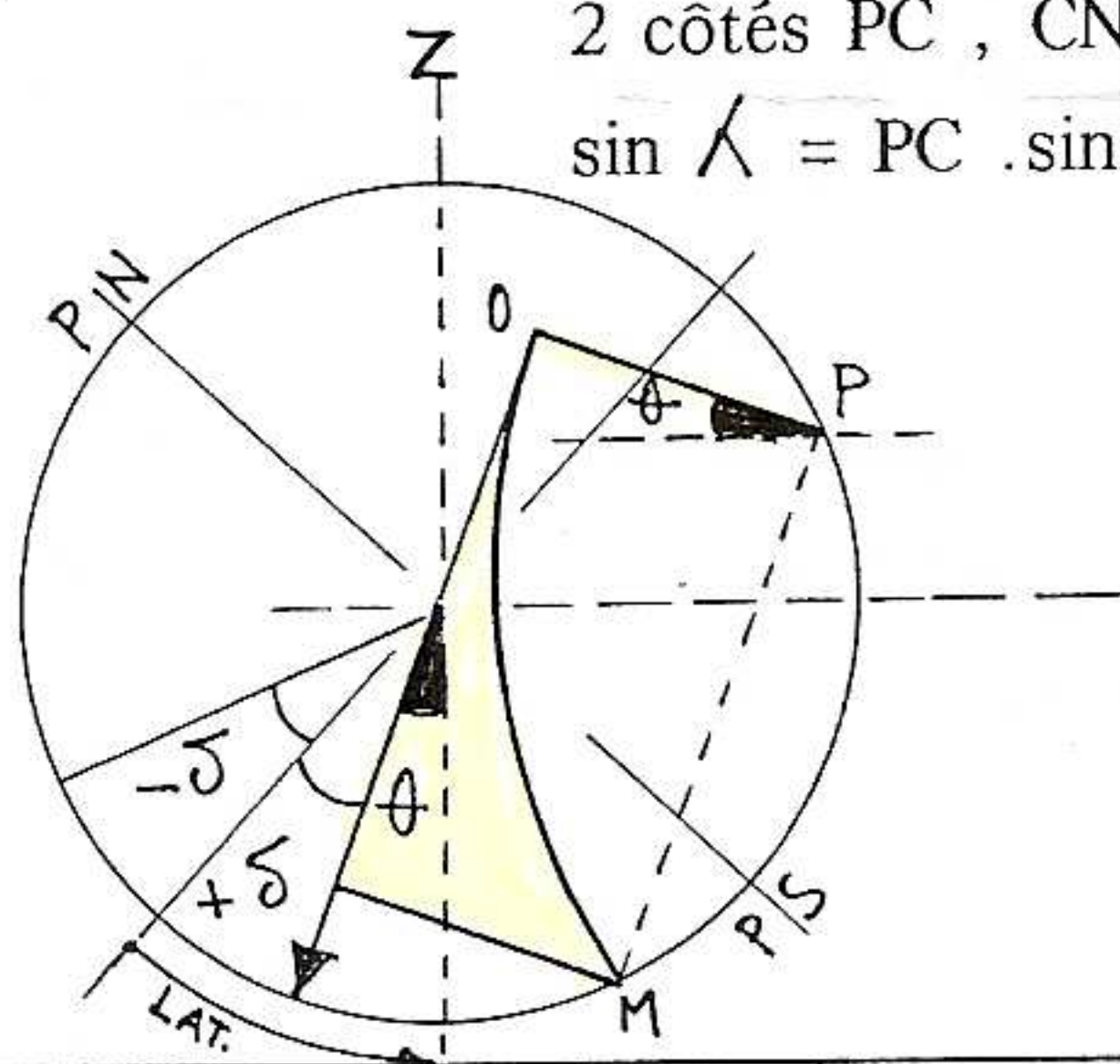
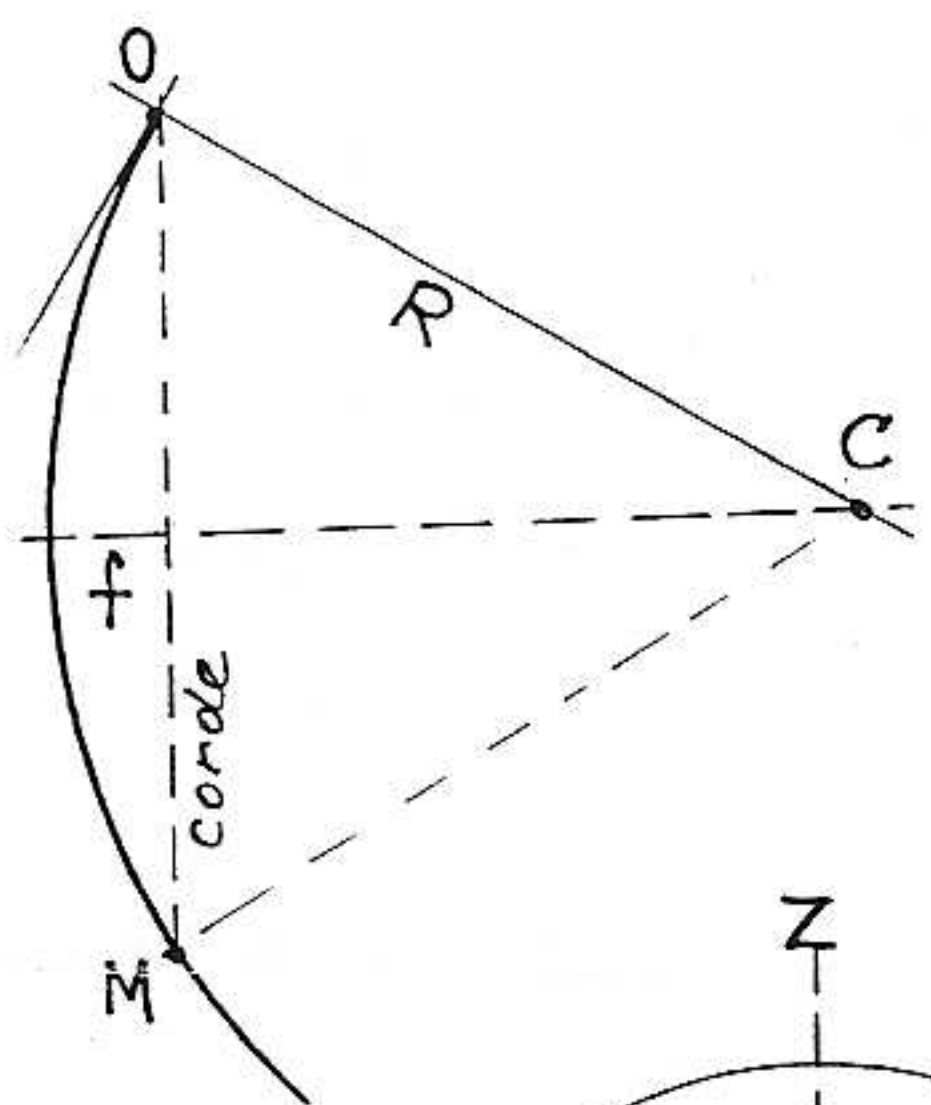
Pour une utilisation optimale de la courbure θ doit être minimum donc l'index de l'alidade sur la décl. du 21/6

Recherche de la longueur des arcs connaissant OP, R, et les hauteurs (ht) par la résolution du triangle PCN (connaissant

2 côtés PC, CN, et $\hat{\beta}$) qui nous donnera α .

$$\sin \angle = PC \cdot \sin \beta / R$$

$$\alpha = 180^\circ - (\angle + \beta)$$



$\theta = \text{LAT} - 23,4 = 20,1$		R = 75	OP = 26	PC = R-OP = 49	O,0174 R = 1,305			
EQUINOXES		Correction de hauteur = $\theta + \delta = 20,1 + 23,4 = +43,5$						
Heures	12H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H
hc=heure corrigée	90	88	82,4	74,4	64,8	54,3	43,5	
$\beta = 180^\circ - hc$	90	92	97,6	105,6	115,2	125,7	136,5	
$\sin \angle = (PC \cdot \sin \beta) / R$	40,8	40,8	40,4	39	36,2	32	26,7	
$\alpha = 180^\circ - (\angle + \beta)$	49,2	47,2	42	35,4	28,6	22,3	16,8	
$\widehat{ON} = 0,0174 R \cdot \alpha$	62,2	61,6	54,8	46,2	37,3	29,1	21,9	
HIVER 22/12		Correction de hauteur = $20,1 + 46,9 = +67$						
hc=haut. corrigée	90	88,7	84,6	78,4	70,4	61,2		
$\beta = 180 - hc$	90	91,3	95,4	101,6	109,6	118,8		
$\sin \angle = (PC \cdot \sin \beta) / R$	40,8	40,8	40,6	39,8	38	34,9		
$\alpha = 180^\circ - (\angle + \beta)$	49,2	47,9	44	38,6	32,4	26,3		
$\widehat{ON} = 0,0174 R \cdot \alpha$	64,2	62,5	57,4	50,4	42,3	34,3		

Concernant la précision des mesures . Sachant qu'un degré de latitude équivaut à 111Km je me demande si réellement un tel instrument pouvait être utilisé par des "voyageurs " de l'époque . Il faudrait , au mieux , connaître la hauteur à $\pm 0,5$ soit ± 55 Km . Or , je ne crois pas que l'on puisse obtenir cette mesure avec un instrument portatif de 6cm de diamètre (R.ROHR) suspendu à un fil ou à la main . Seul un disque de grand diamètre , parfaitement stable et nivelé pourrait donner cette précision .

le 8-11-2010

Mr. Sauvageot,

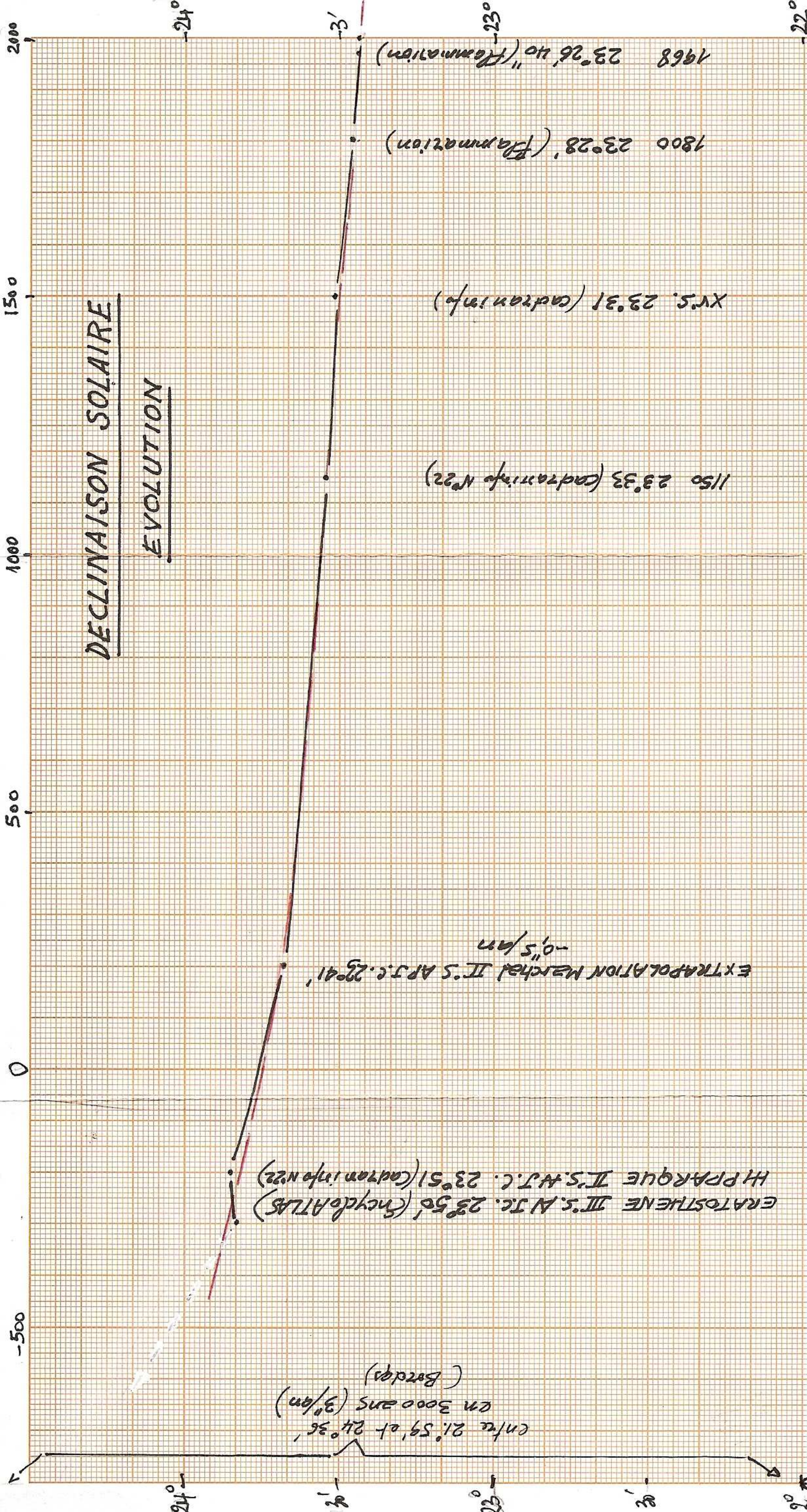
E Tuohi Pori Pan Klima

serait-il possible de remplacer la 1^{re} partie de mon commentaire (page 4 "que ces instruments ... était déjà matigués") par celle ci-dessus présentée . Car je ne crois pas aux nomades mesurant des latitudes à ± 100 Km et encore moins à ± 50 Km . Peut-être des représentants de l'Empereur pour marquer l'Empire ?

A.M.

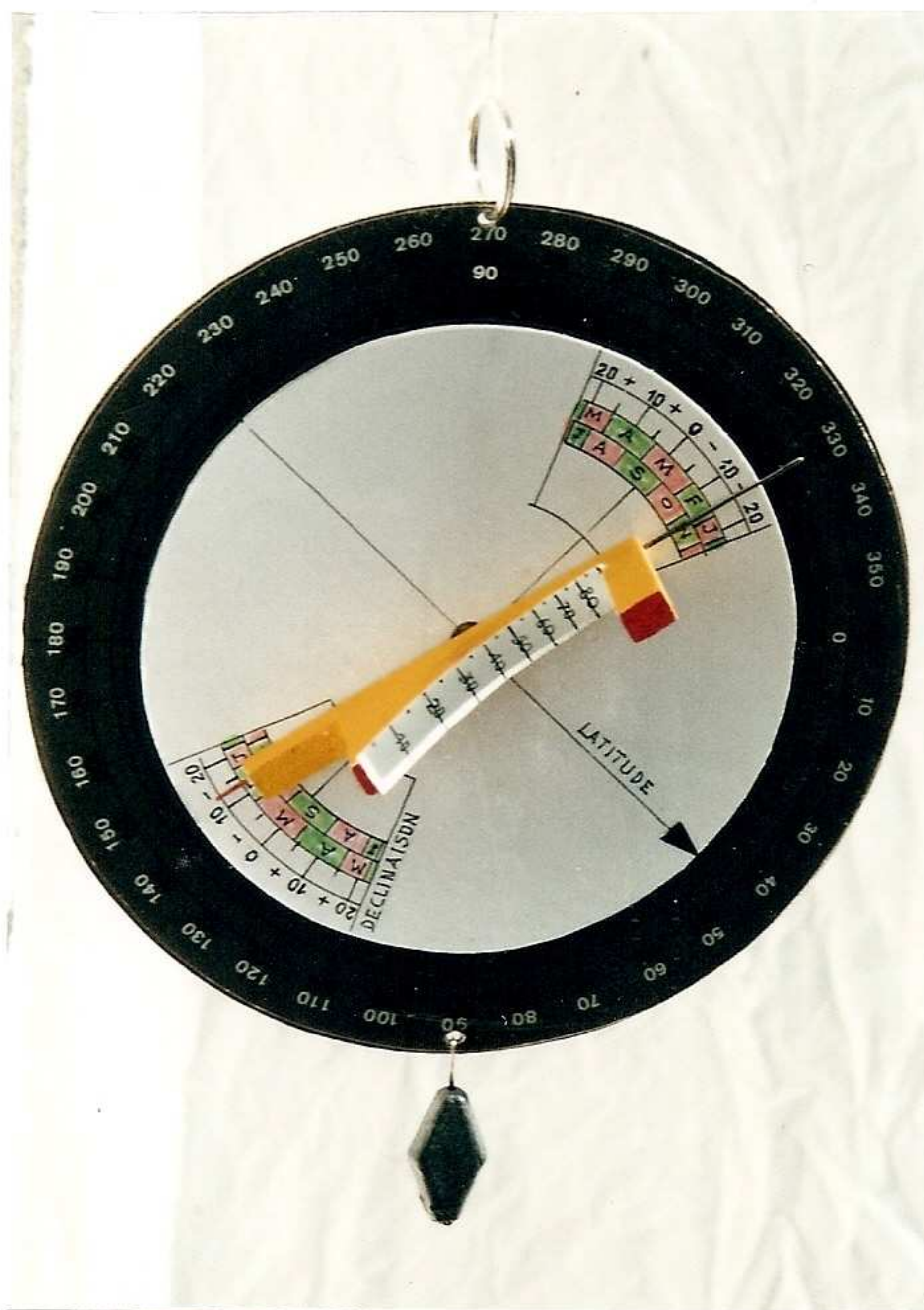
DECLINAISON SOLAIRE

EVOLUTION



PROS PAN KLIMA

MODELE N°1



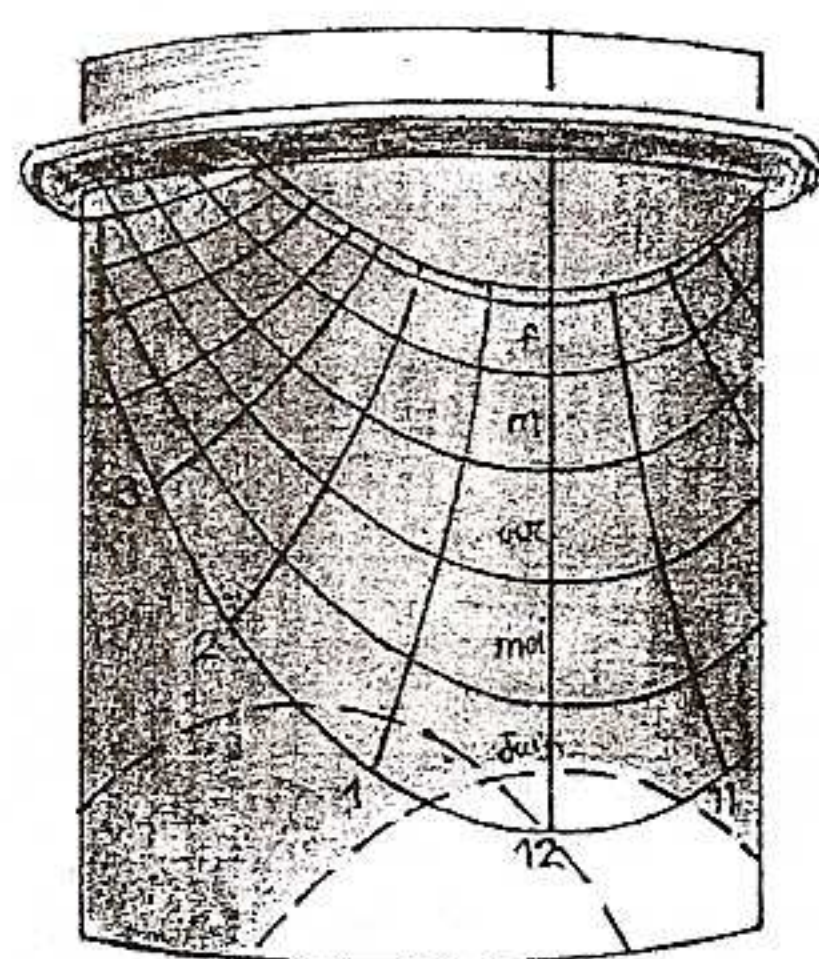
vertical mesure de latitude



horizontal mesure de la hauteur

VARIANTE DU CADRAN DE KIRCHER DITE A GNOMON MOBILE

Le vrai cadran de Kircher (1646) est un cadran "à chapeau" c'est à dire un volume cylindrique qui porte à sa partie supérieure une couronne en léger débordement .



L'heure de midi est donnée par une droite verticale orientée plein Sud , de part et d'autre de celle-ci les heures du matin et de l'après-midi sont des courbes légères partant de la couronne et divergeant vers le bas du cylindre . Une série de paraboles concentriques partant de la couronne indiquent les mois . L'ombre du soleil dessine une parabole inversée par rapport aux autres et son point haut donne l'heure et la date . Dans la pratique , ce point haut n'est pas facile à situer avec précision et c'est pourquoi Kircher proposait de faire des entailles dans la couronne , d'où le nom de "chapeau filtrant". La solution était encore imparfaite et c'est ce qui explique les rares traces de ce cadran fixe .

Il reste cependant que l'idée de Kircher est exploitable et peut donner un cadran d'une bonne précision horaire toute l'année , avec en plus , des indications de date , d'azimut et de hauteur si on le désire .

Pour cela il suffit de remplacer la couronne par une petite plaquette verticale mobile autour du cylindre , reliée au centre par une tige horizontale . Par la rotation de la plaquette on réduit l'ombre portée à un mince filet vertical dont l'extrémité basse donnera un point de lecture de l'heure et de la date . En traçant sur le dessus des indications angulaires , nous pouvons aussi connaître l'azimut solaire .

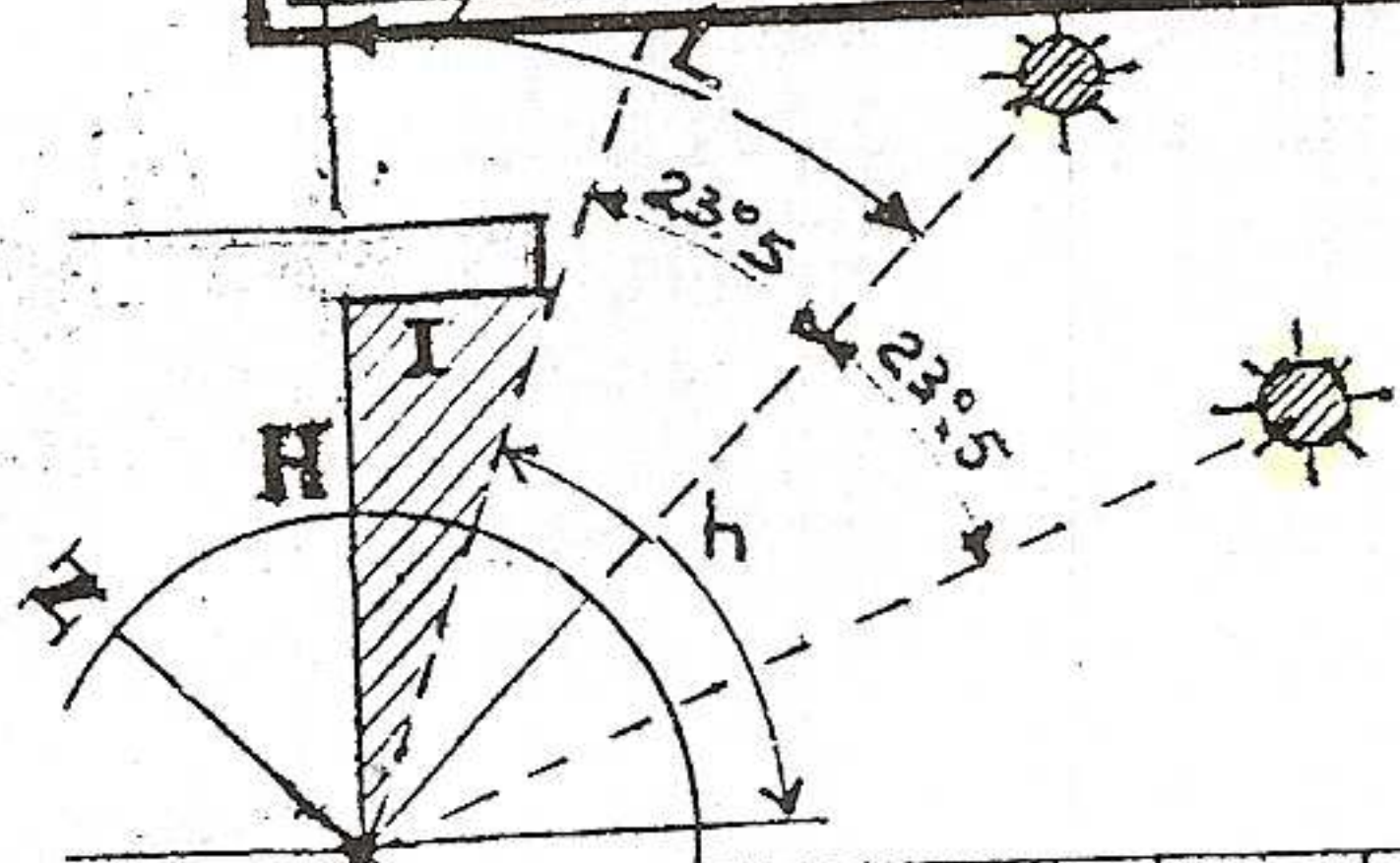
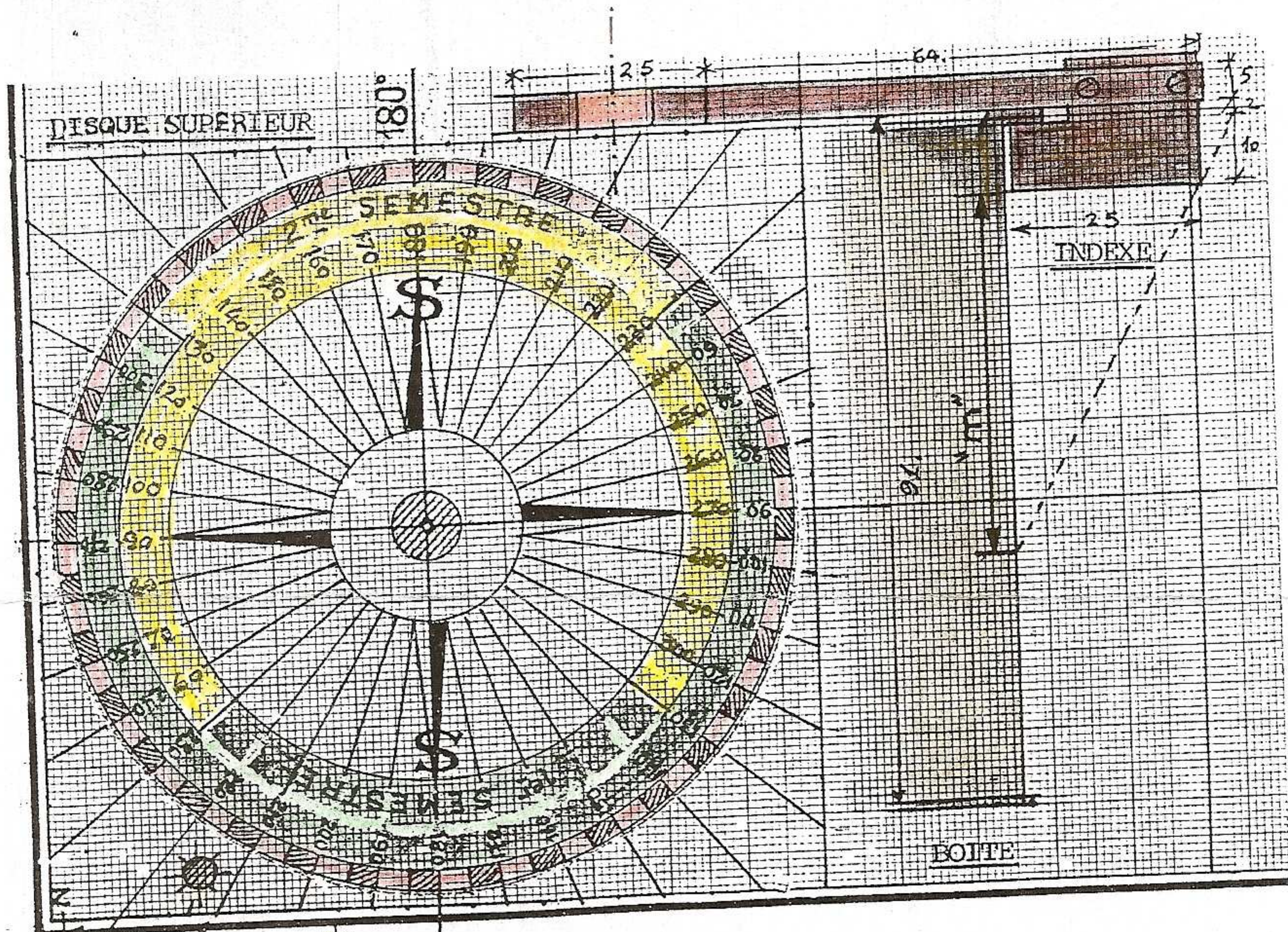
Pour une bonne précision et une bonne clarté du cadran , considérant qu'on ne peut pas faire exactement coïncider les paraboles du 1er et du 2me semestre , il sera bon de faire 2 tracés des courbes . L'un du solstice d'hiver au solstice d'été , l'autre du solstice d'été au solstice d'hiver . Nous aurons en fin de journée un recouvrement de ces 2 tracés , plus ou moins important suivant la latitude , puisque le soleil décrit en azimut plus que le demi-cercle entre l'équinoxe du printemps et l'équinoxe d'automne . Pour un tel tracé , une inversion semestrielle des pôles sera alors nécessaire .

Ce cadran cylindrique à index mobile ressemble à première vue au cadran de berger , mais il y a des différences importantes : l'un est portatif et auto-orientable par la date , l'autre est fixe (monumental) et pré-orienté ; l'utilisation du "berger" est limitée entre les équinoxes printemps-automne , le Kircher garde une bonne précision toute l'année . Ils ont en commun une bonne précision autour des 12h .

REALISATION

j'ai fabriqué mon prototype à partir d'une boîte de conserve cylindrique sur laquelle j'ai enroulé une plaquette souple qui portait tous les tracés et inscriptions .

- 1) Calculer le développement de l'enveloppe en fonction du diamètre de la boîte et de sa surépaisseur et fixer la hauteur H.
- 2) Diviser la longueur du développement en 36 parties de 10° pour les azimuts.
- 3) Déterminer la longueur I de l'index en fonction de la latitude et de H.
- 4) Pour 1er de chaque mois, rechercher AZ, h, et m, pour les angles horaires (voir calculs de l'horizontal de hauteur à gnomon). Tracer l'épure sur l'enveloppe.
- 5) Tracer des angles azimutaux et une rose des vents sur le disque supérieur.
- 6) Fabrication de l'index avec son bras pivotant. Montage de l'ensemble sur un socle.
- 7) Les 2 lignes 12h du tracé passent chaque semestre sur le pôle inverse du méridien.

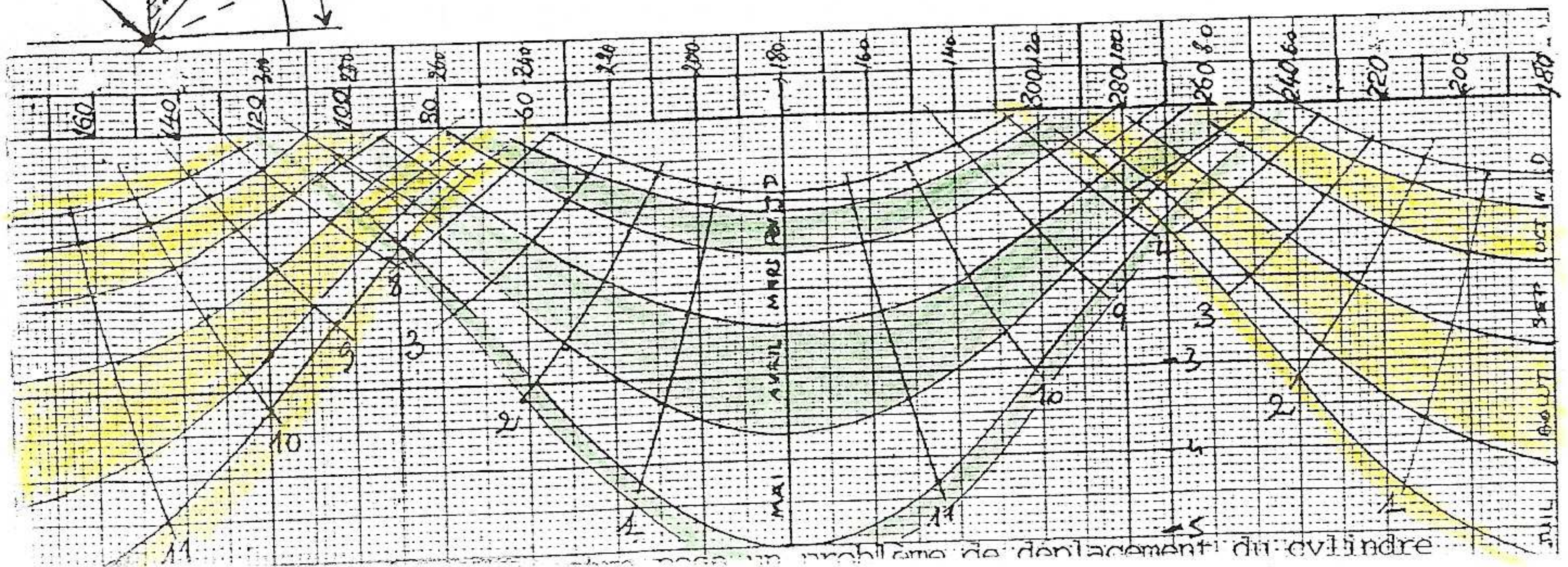


$$I = \text{tg}(L - 23^\circ 5') \times H$$

$$= \text{tg} 20^\circ \times 7 \text{ cm} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Boîte } D = 9.98 \text{ dével.} = 31.35 \quad 10^\circ = 0.87$$

$$"m" = I \times \text{tg } h$$





LATITUDE 43° 30'
CADRAN A CHAPEAU DE AIGLE
MODIFIE PAR A. MARCHAL
1997

A. MARCHAL

**LES INSTRUMENTS
HELIOHORAIRE**

BROCHURE D'INITIATION

PAR

A. MARCHAL

L'INSTRUMENT HELIOHORAIRE

Le moindre rayon de soleil qui s'égare est capturé par ce piège étrange pour être questionné sur l'implacable course du temps . Le rayon vous donnera l'heure et le mois de l'instant , mais vous cachera l'année qui pourrait vous attrister .

A.M.

L'appellation "héliohoraire" est nouvelle et devrait remplacer celle que tout le monde connaît : "cadran solaire" , ou encore "gnomon" pour les plus savants . Car , ces 2 termes sont limités et n'englobent pas toute la variété des procédés qui permettent de connaître l'heure par le soleil . Etymologiquement le cadran solaire est une surface portant des divisions devant lesquelles se déplace l'ombre d'un style ; le gnomon en est sa version primitive comportant simplement 1 pieu et une surface plane .

Il y a pourtant pour connaître l'heure du soleil de très nombreuses possibilités . Le moindre obstacle aux rayons lumineux provoque une zone d'ombre mobile plus ou moins importante qui , pour apparaître doit se projeter sur une surface oblique , horizontale , verticale , plane ou courbe mais claire . On peut artificiellement créer l'obstacle (tige) et la surface réceptrice (plaque , globe) ou tout simplement adopter un objet quelconque dont la configuration permet l'apparition de l'ombre (vasque) . On peut aussi aller chercher ou attendre le soleil avec une lunette ou une loupe (canon solaire) .

L'instrument héliohoraire est l'aboutissement de nombreux procédés mais aussi il peut être monumental , mobile , fixe , limité à 1 latitude ou universel , en métal , sculpté sur pierre ou autre , d'inspiration artistique ou pas .

Indiquant l'heure solaire , parfois la date , il peut en plus donner l'heure de la montre après de simples corrections ou en lecture directe . Sa précision peut atteindre 2mn pour certaines réalisations et bien qu'inutilisables sans soleil , ces instruments ont l'avantage sur la montre de ne pas nécessiter de réajustement horaire après une interruption de fonctionnement .

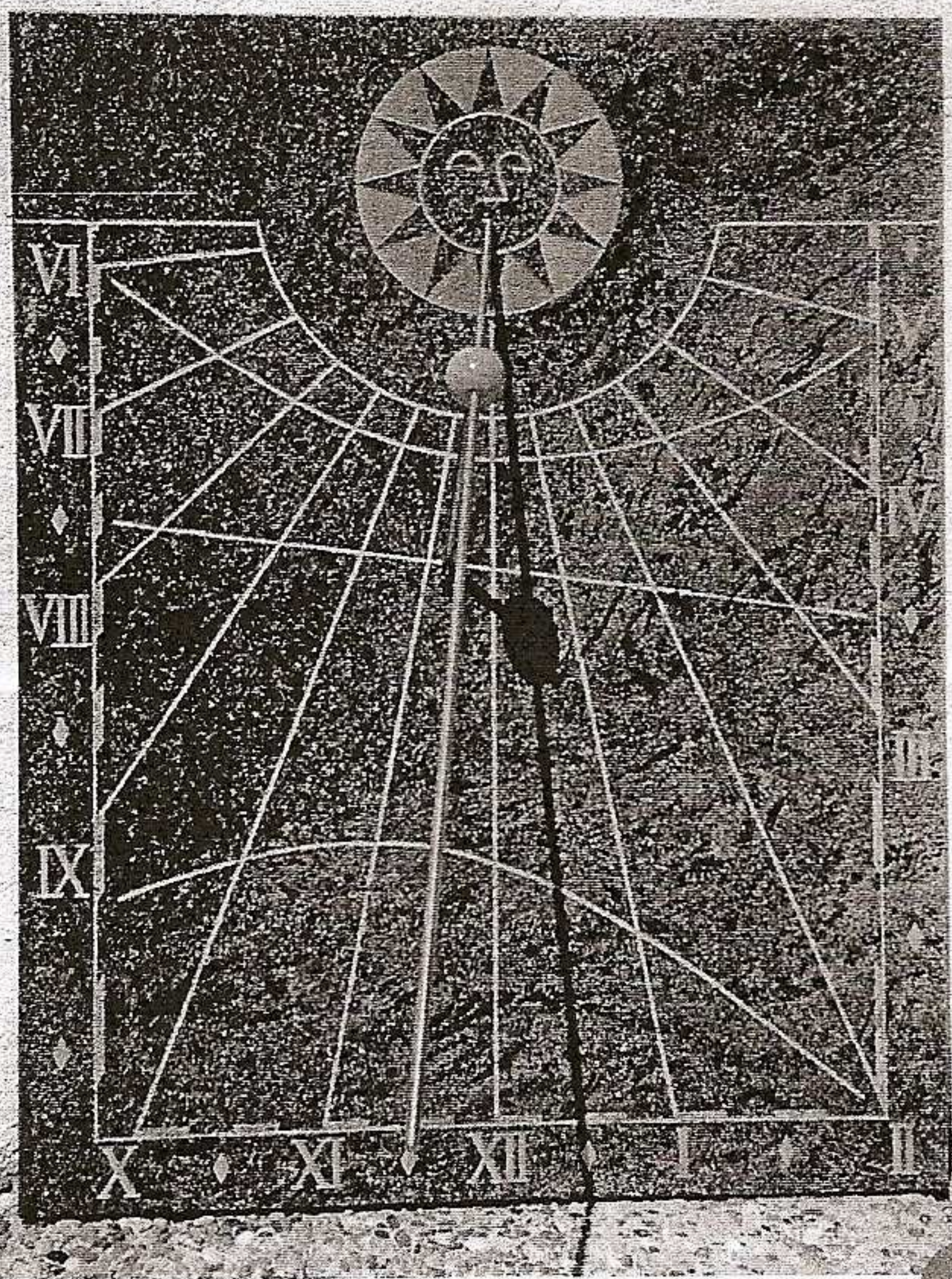
Pour illustrer ces propos nous présentons ci-après quelques maquettes de réalisations choisies parmi plus de 80 modèles étudiés , calculés et fabriqués par l'auteur .

MODELES PRESENTES

- 1 et 2 cadrans verticaux classiques
- 3 méridienne avec dateur précis .
- 4 sphère armillaire équatoriale
- 5 une variété d'objets héliohoraires .
- 6 triens ou cadran de hauteur (rayon passant par un oeillet)
- 7 cadran horizontal mosaïque .
- 8 monument aux multiples cadrans plans (horizontaux , verticaux latéraux ,
méridionaux inclinés) .
- 9 monument à cubes empilés .
- 10 monument Arlequin .
- 11 et 12 projet de maison héliohoraire
- 13 polyèdre non-régulier .
- 14 disque universel de hauteur (mobile) .
- 15 diptyque analemmatique pliable (4 indications horaires) gravure à l'eau forte
sur zinc .
- 16 canon solaire en cuivre avec corrections heure solaire → heure civile .
- 17 cadran double universel FOSTER-LAMBERT et polaire (en zinc) .
- 18 diptyque universel analemmatique et vertical .
- 19 polyèdre régulier non-convexe et cadrans verticaux .
- 20 polyèdre régulier convexe (icosaèdre) .
- 21 polyèdre cubique (hexaèdre) .
- 22 globe d'éclairage héliohoraire (le rayon passe par un oeillet au zénith) .
- 23 globe héliohoraire pivotant (matin et soir) .
- 24 ensemble héliohoraire sphérique (externe et interne) .
- 25 globe équatorial universel à tige mobile avec correction heure solaire →
heure civile .
- 26 monument interactif . Globe horaire équatorial à tige mobile (correction
heure solaire → heure civile) et demi-sphère concave à oeillet zénithal
(antiboreum) .
- 27 monument équatorial à 4 segments avec globe à heure civile .
- 28 projet de monument . Tour de Babel avec de multiples diagrammes verticaux
dont l'indicateur est un poteau d'éclairage avec une table d'orientation cou-
ronnant le sommet .
- 29 monument . Demi-sphère verticale à indications horaires concave et convexe
oeillet au zénith .

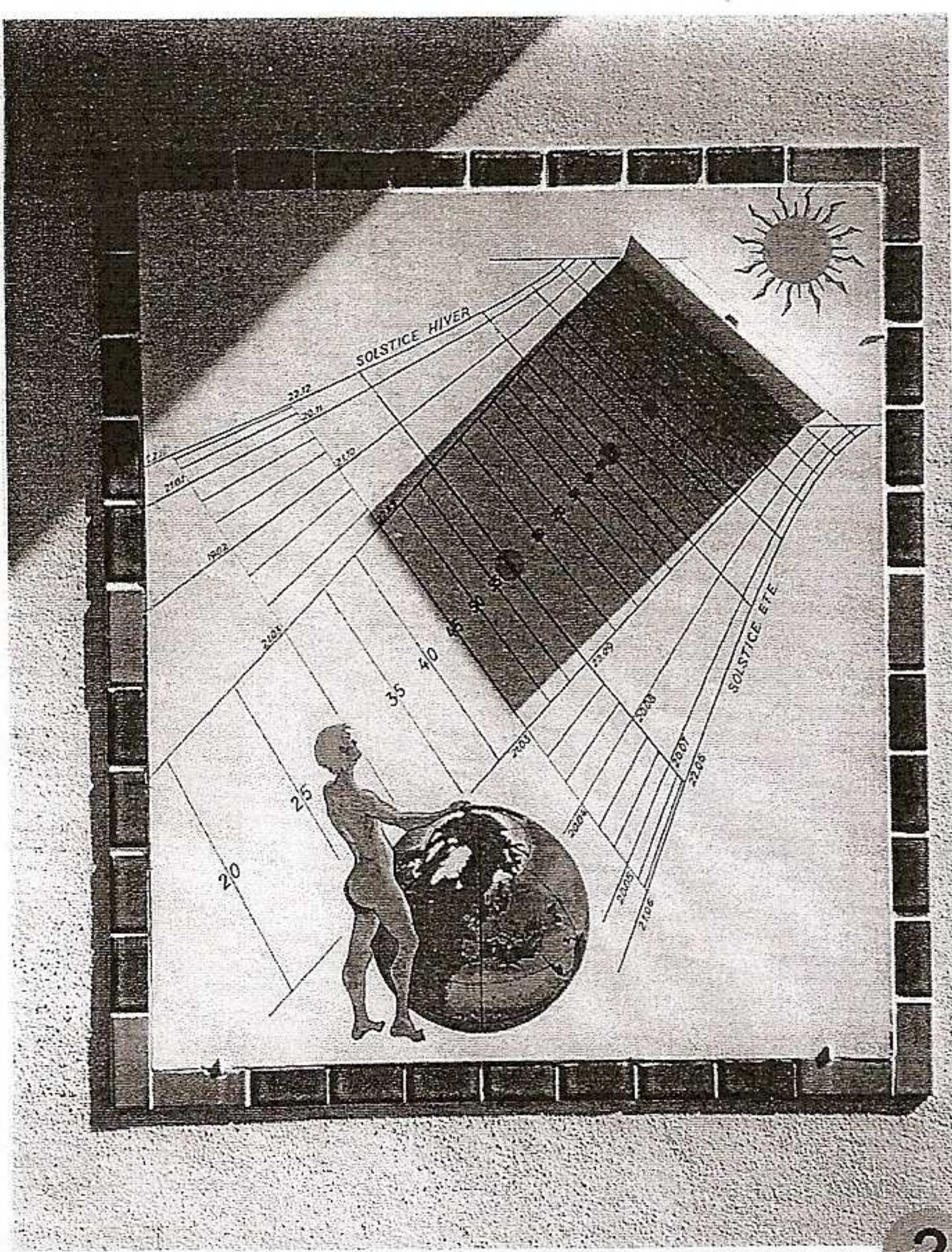
- 30 et 31 vasque héliohoraire , L'heure est à l'intersection de l'ombre et de la date
- 32 composition monumentale de demi-sphères héliohoraires sans marqueur .
- 33 demi-sphère héliohoraire insérée dans un mur .
- 34 monument polyédrique avec différentes demi-sphères héliohoraires .
- 35 volume expérimental à segments cylindriques et demi-cylindriques .
- 36 banc public à 2 positions de dossier (AM et PM) orienté nord → sud .
- 37 biface équilatéral LAT. $43^{\circ}30'$ lecture du levant au couchant .
- 38 tétraèdre calculé pour LAT. 45° utilisable entre 40° et 50° après réglage
3 faces gravées , levant / méridionale / couchant .
- 39 globe à 3 indicateurs équatoriaux décoré avec un heptacorde .
- 40 hexaèdre héliohoraire
- 41 double octaèdre - monument à nombreuses facettes gravées
- 42 globe hérisson à 9 grilles horaires .
- 43 oiseau héliohoraire avec bec pour marqueur .
- 44 Cagou et cocotte avec bec pour marqueur .
- 45 Mickey Mouse de face (indications horaires entre 10H30 et 13H30)
- 46 Felix le chat au dos de Mickey après rotation (plage horaire plus importante)
- 47 groupement avec vache héliohoraire .

*{ inspiré par le
monument solaire de
Bagneux (92)*



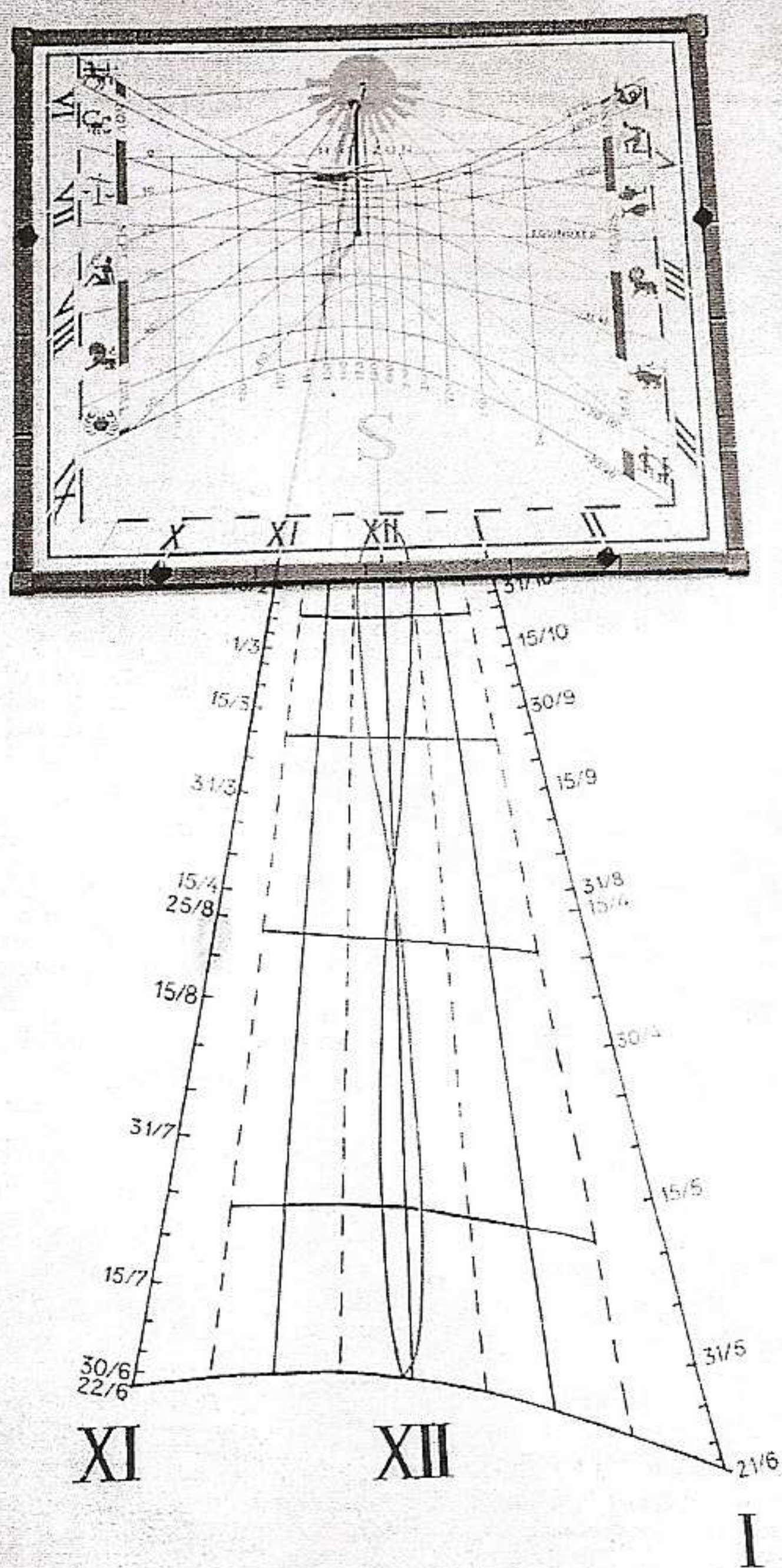
1

1996 - CADRAN VERTICAL en grès poli ,
gravure par sablage , installé sur la façade
de l'ancien presbytère de Bernac-Dessus (65)



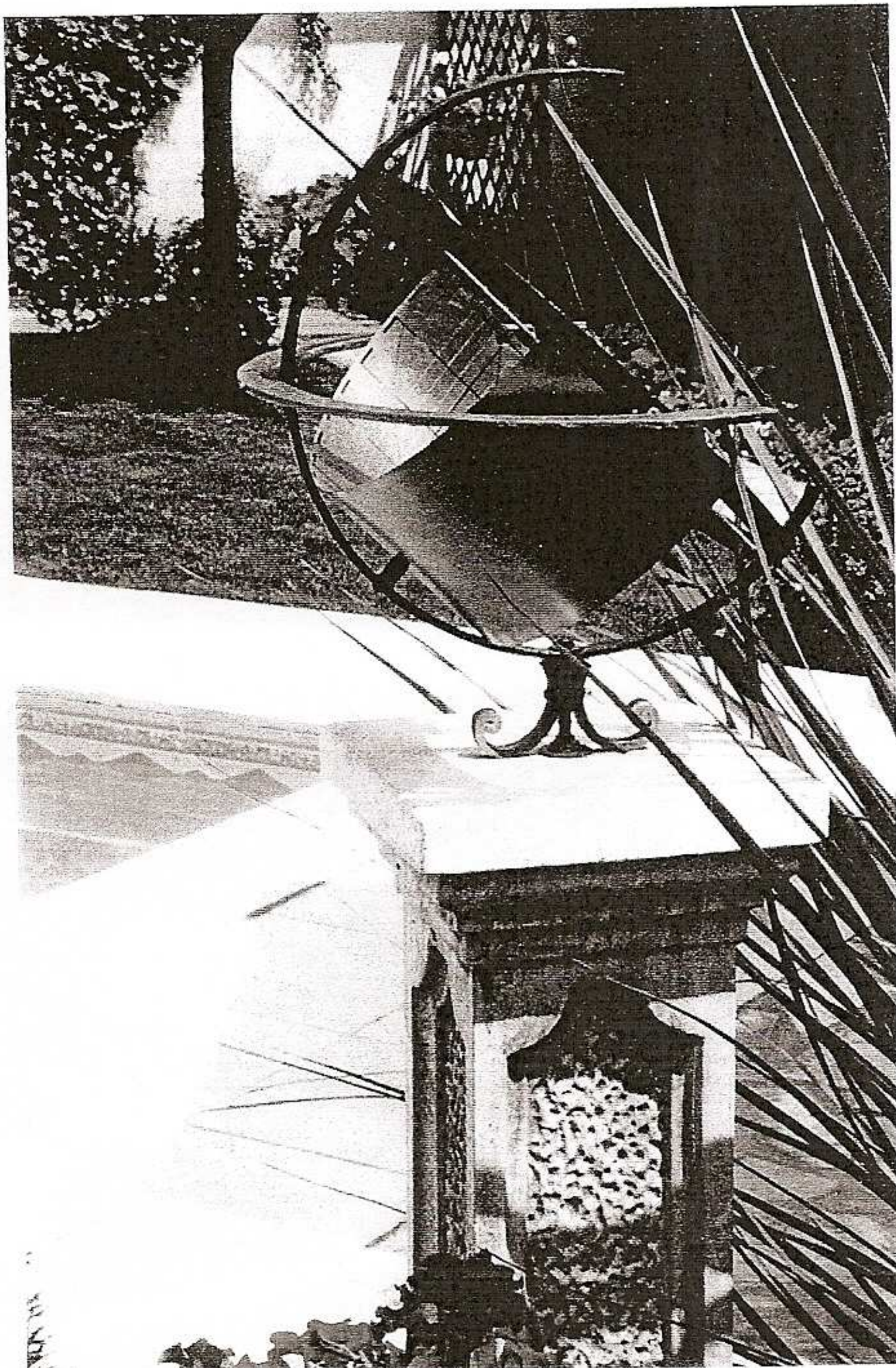
2

CADRAN VERTICAL OUEST Gist. 176°,7
Lat : 43°30' ; Long : 0° ; le 12 mars
H.solaire 12h 44mn ; H.civile 13h 54mn



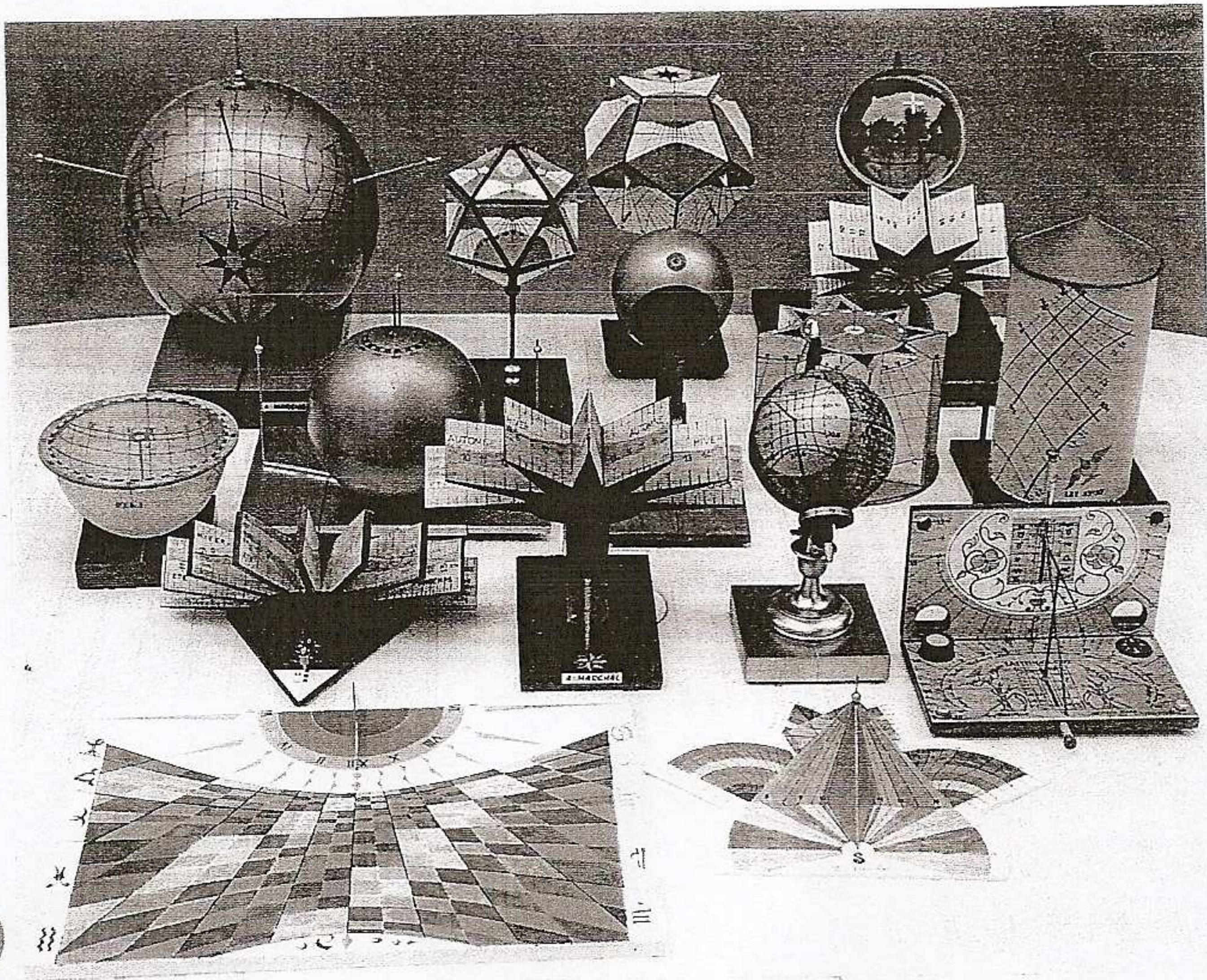
3

CADRAN VERTICAL MERIDIONAL
Lat : 43°30' ; Long : 0° ; Gist. : 86°,7
22/8 H.solaire 11h ; H.civile 13h 3mn

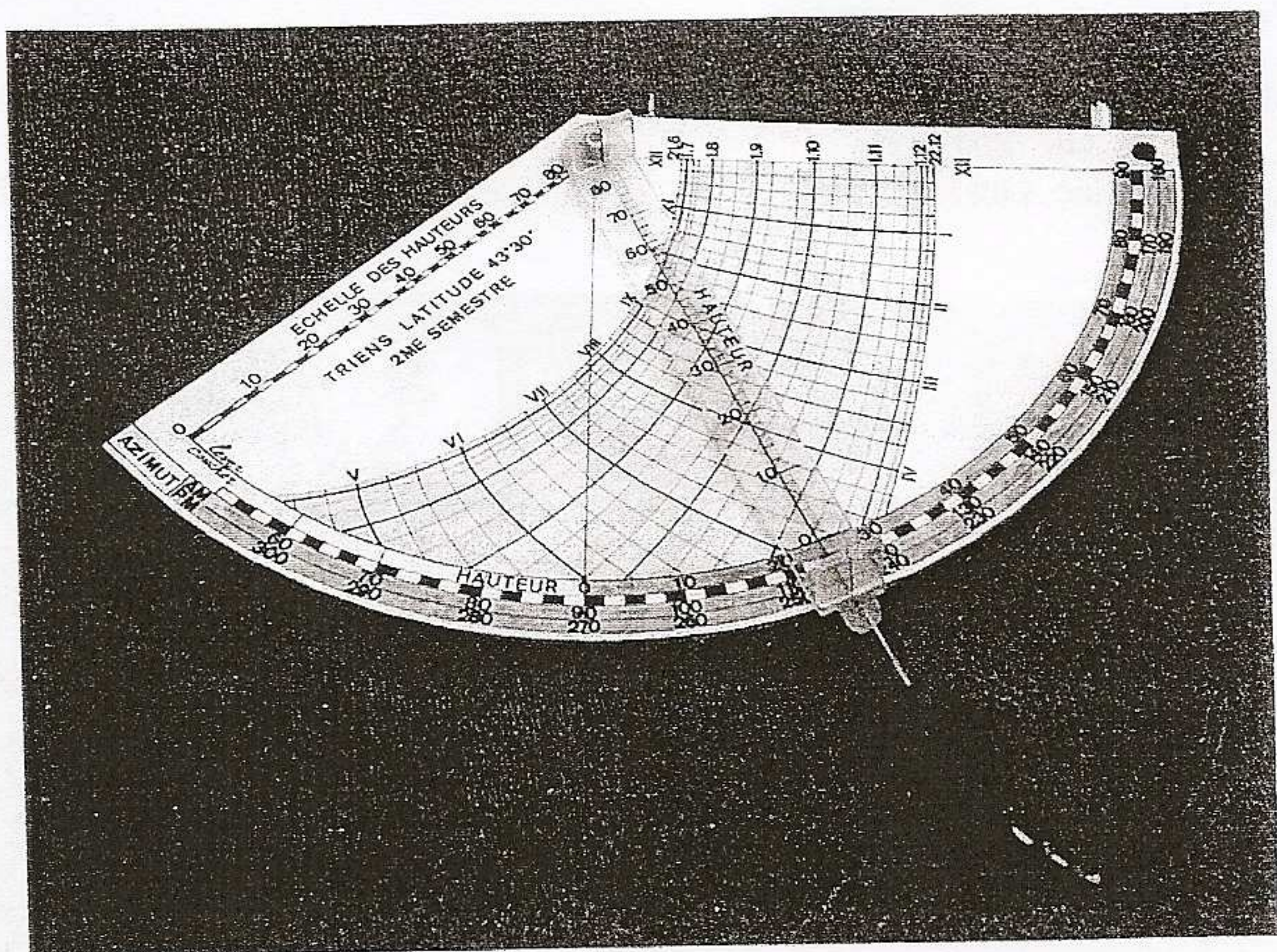


4

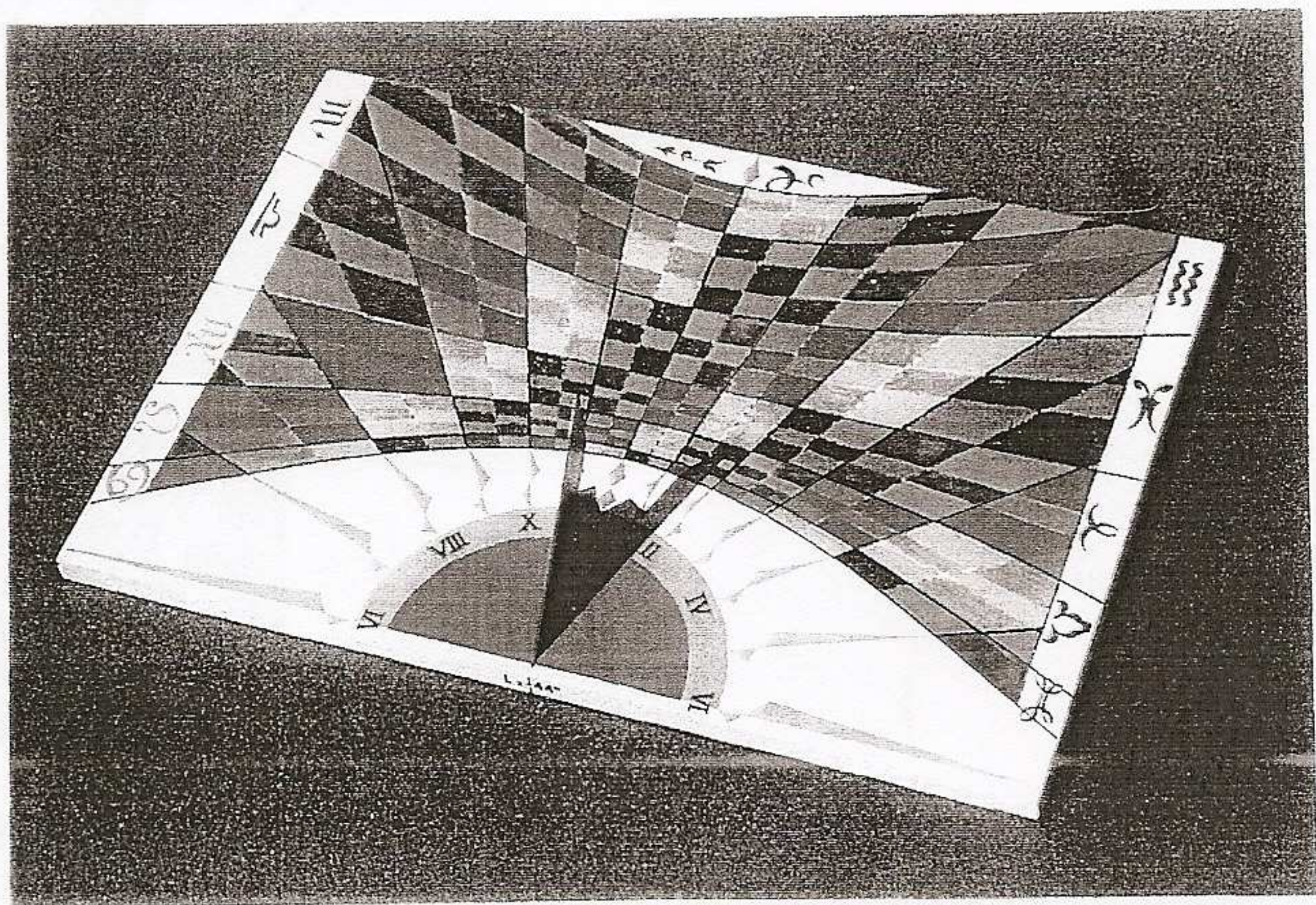
SPHERE ARMILLAIRE dans un parc



5

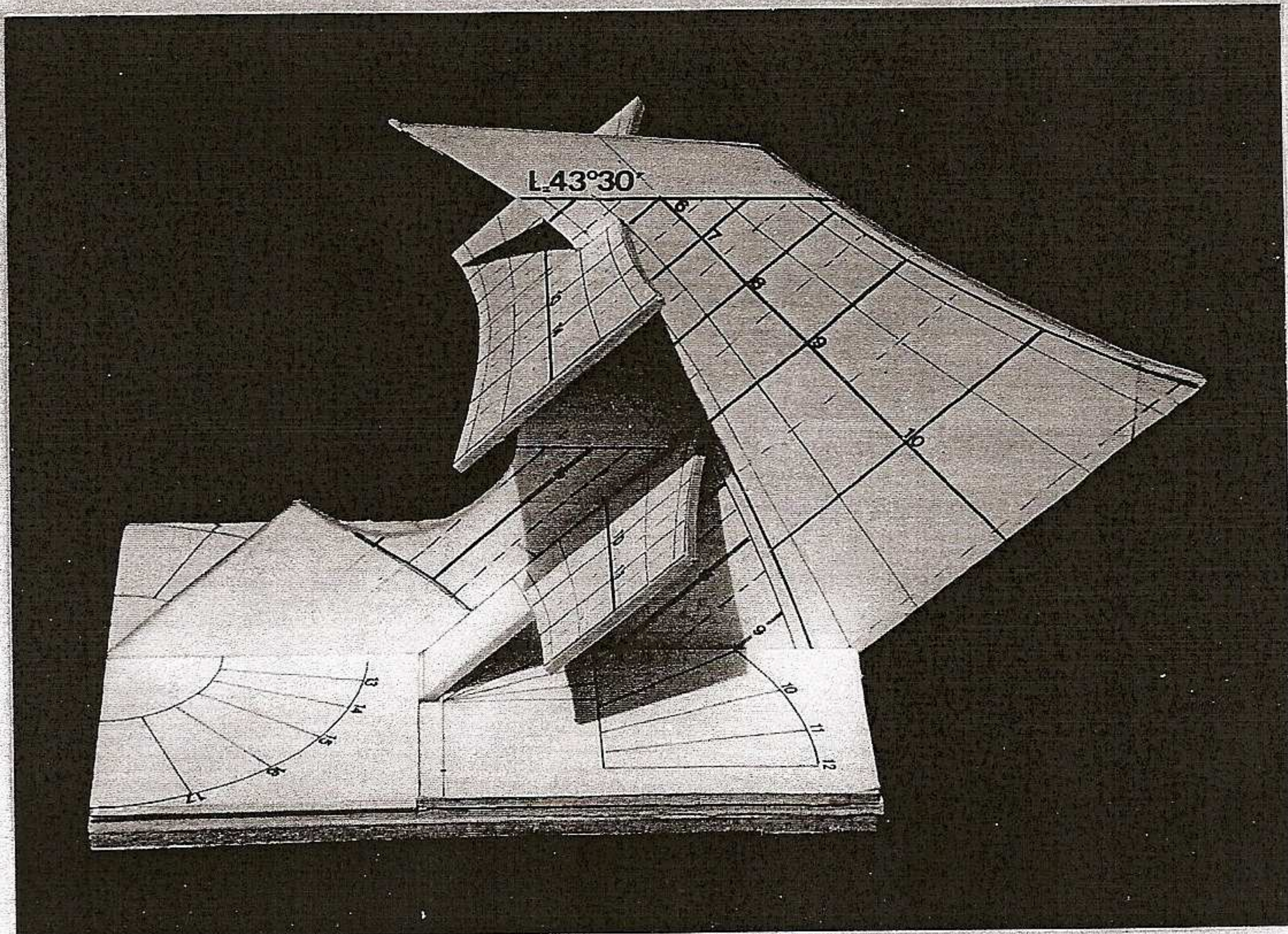


6

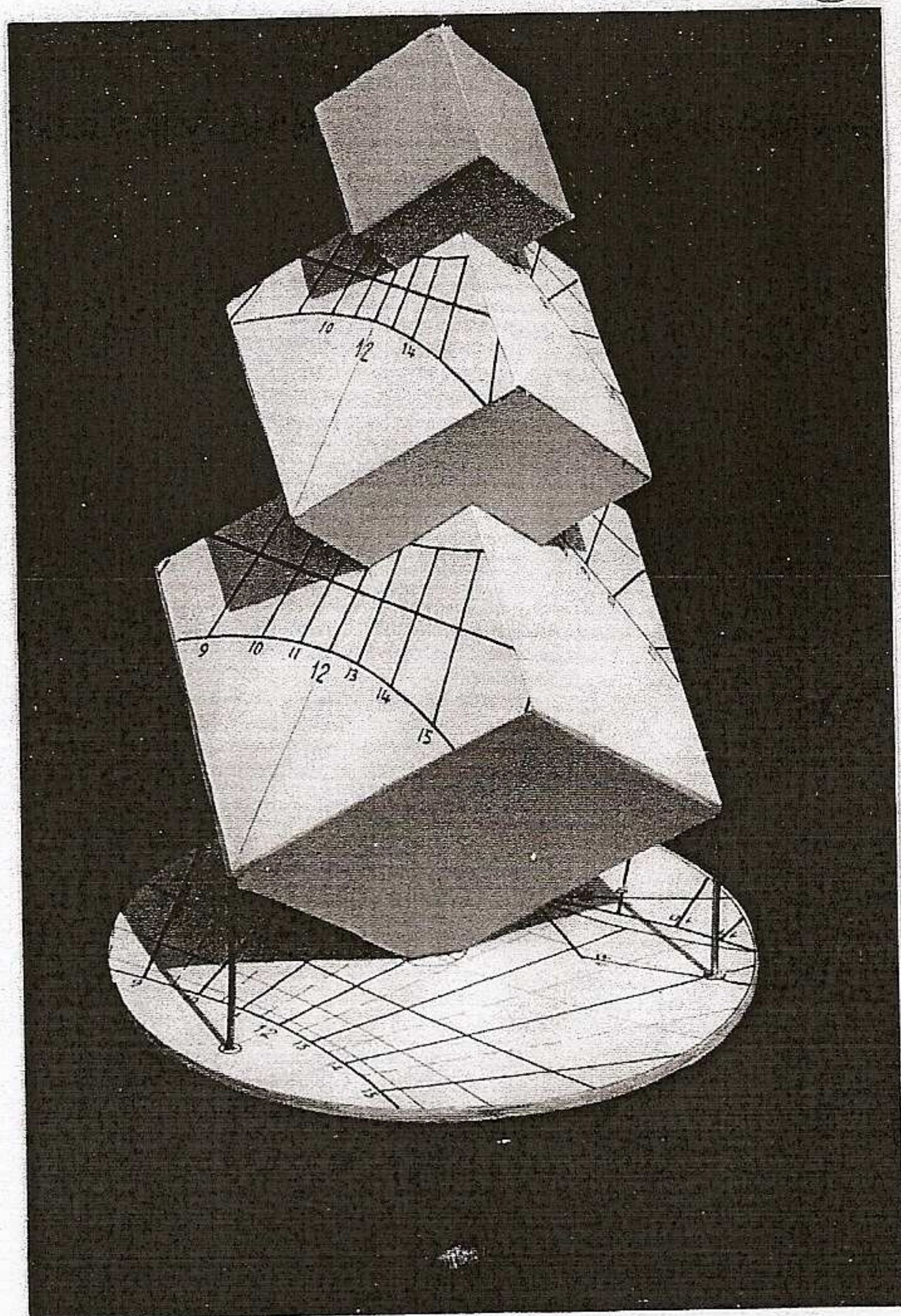


7

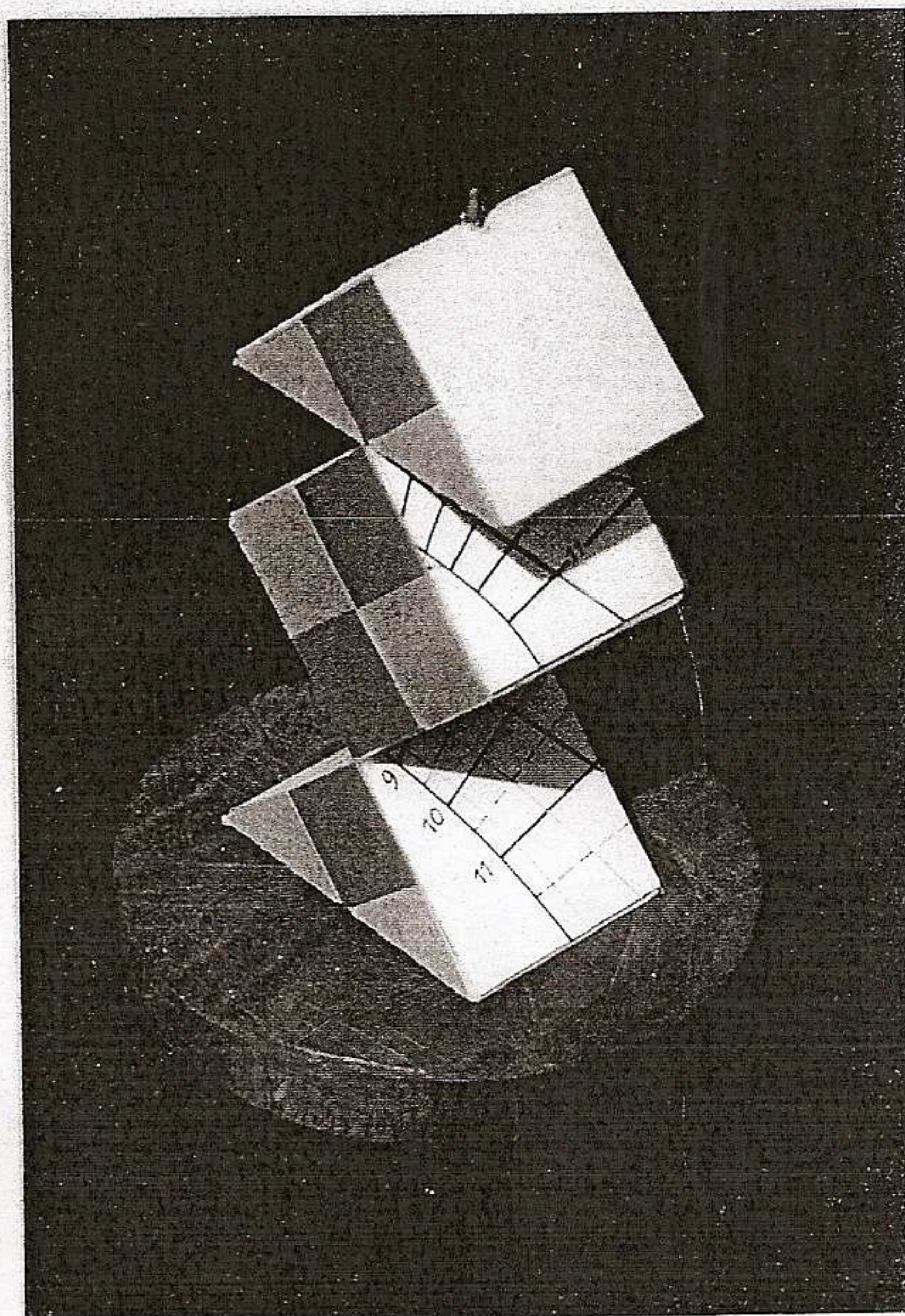
8



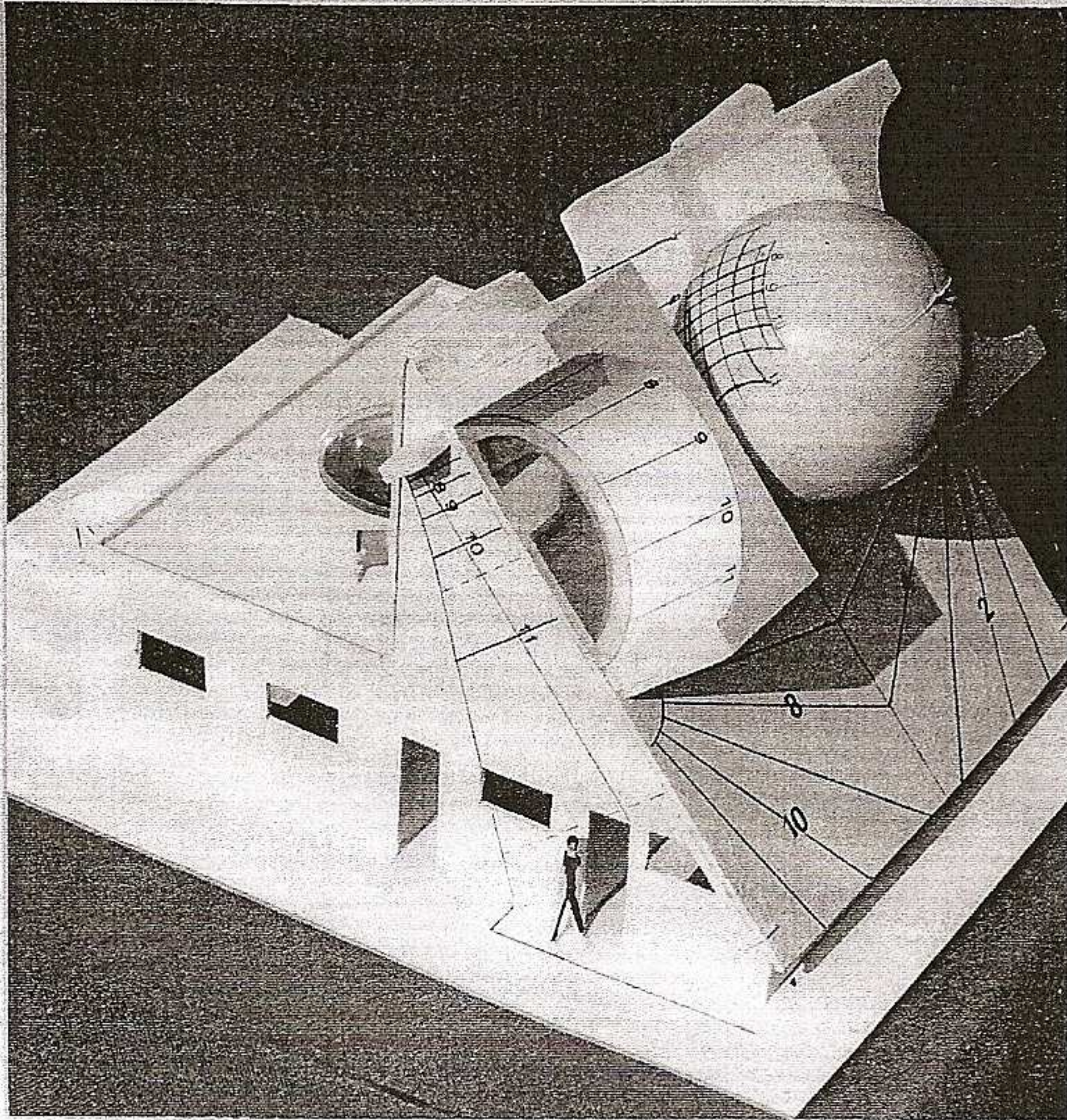
9



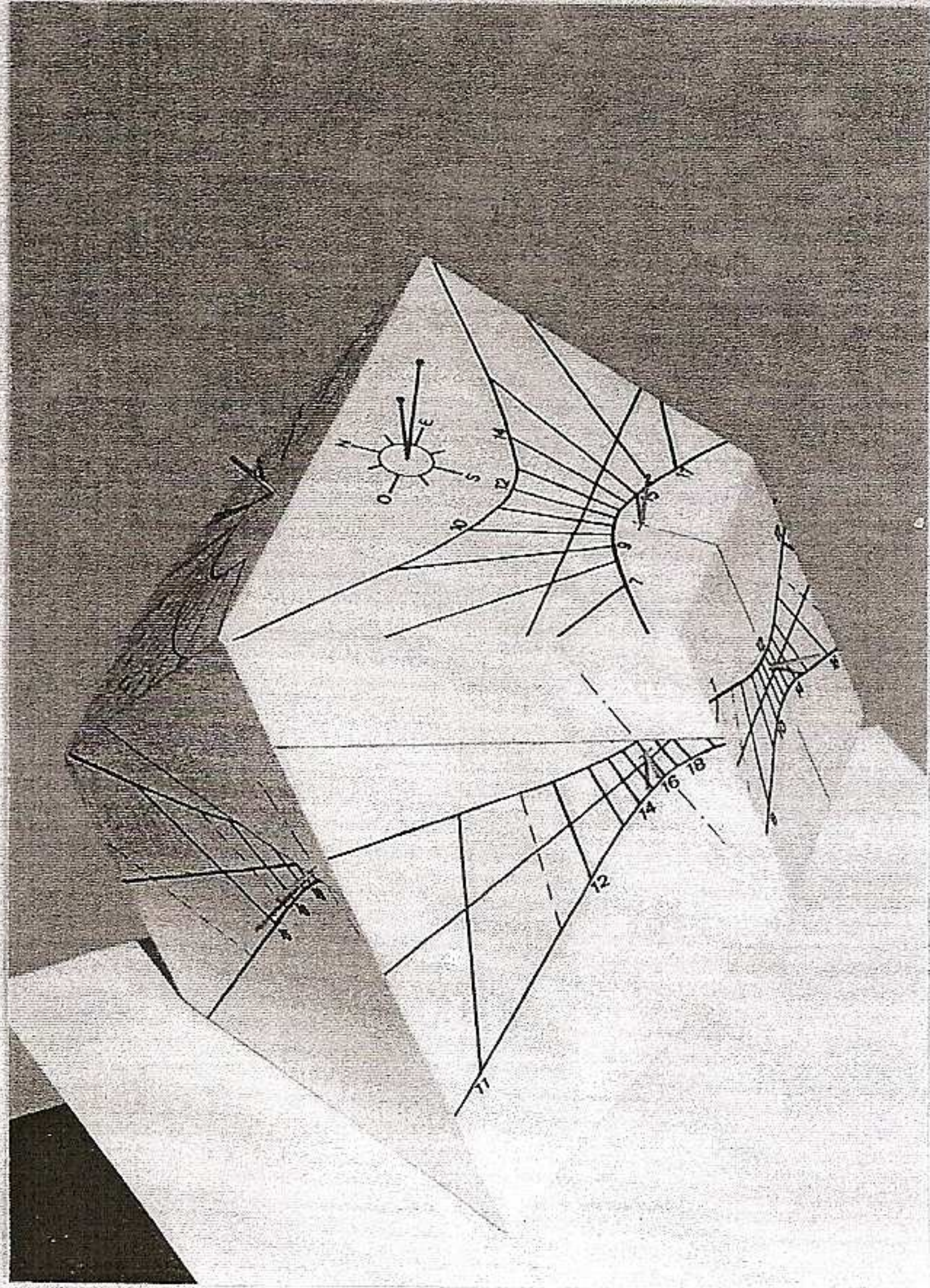
10



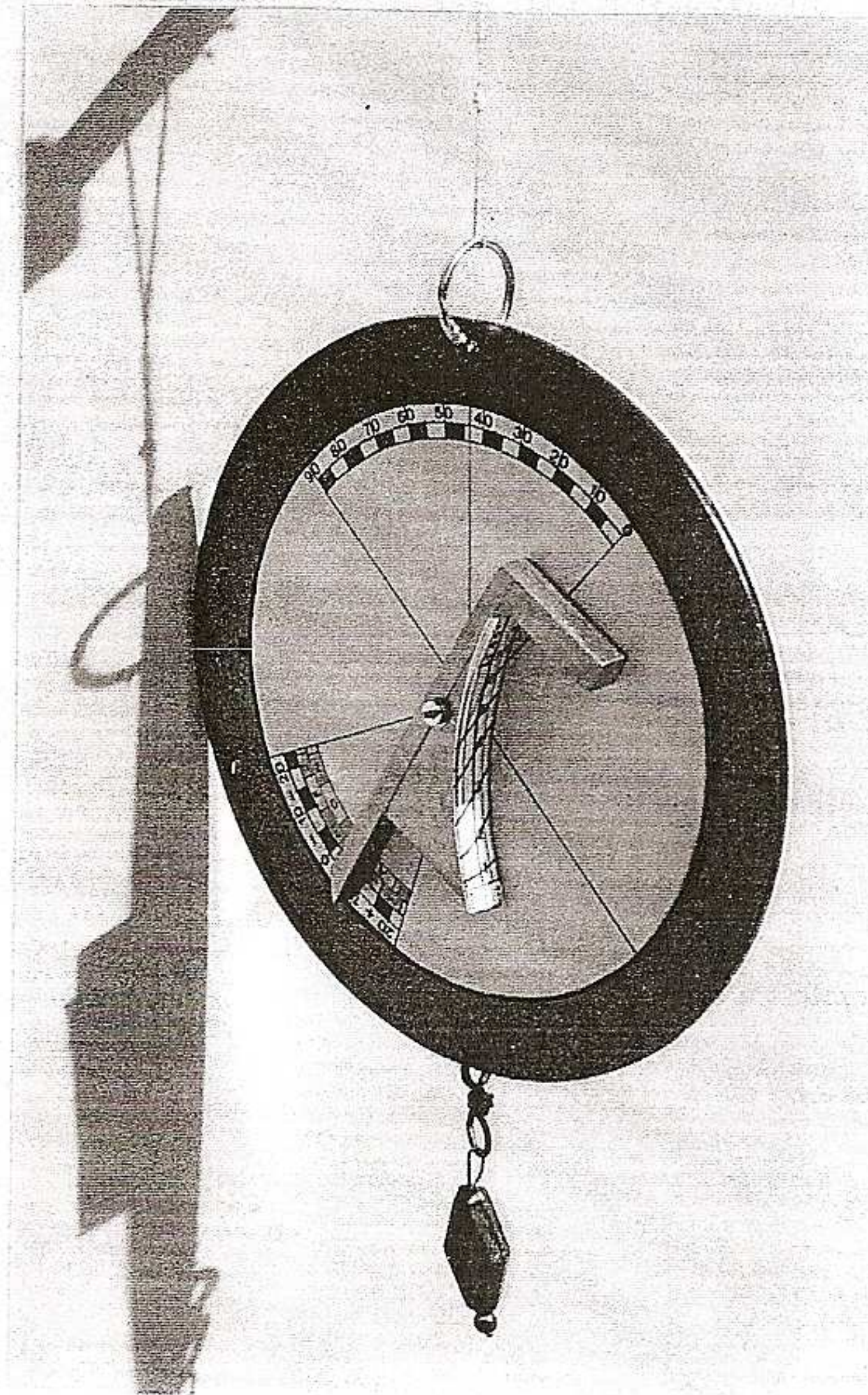
11



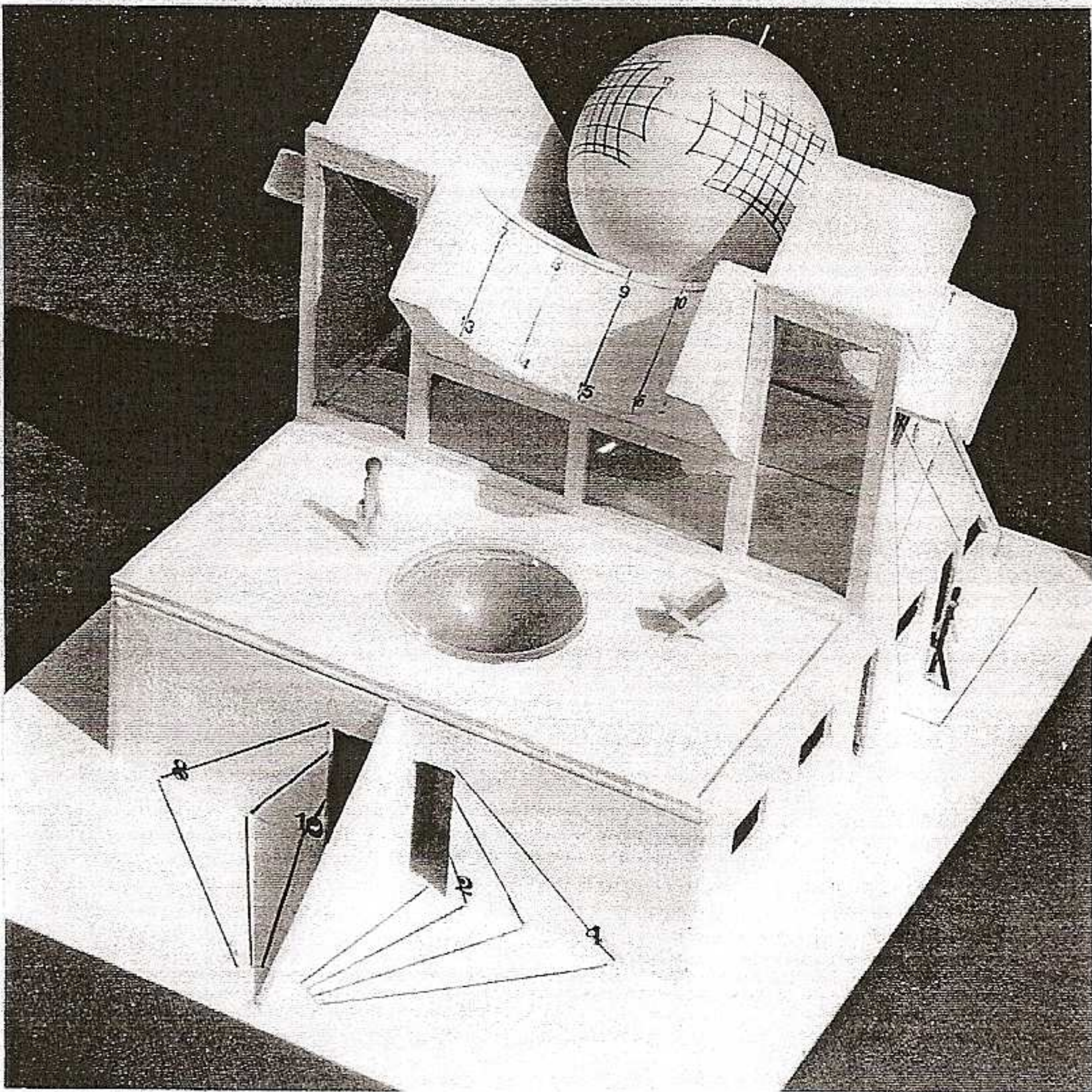
13



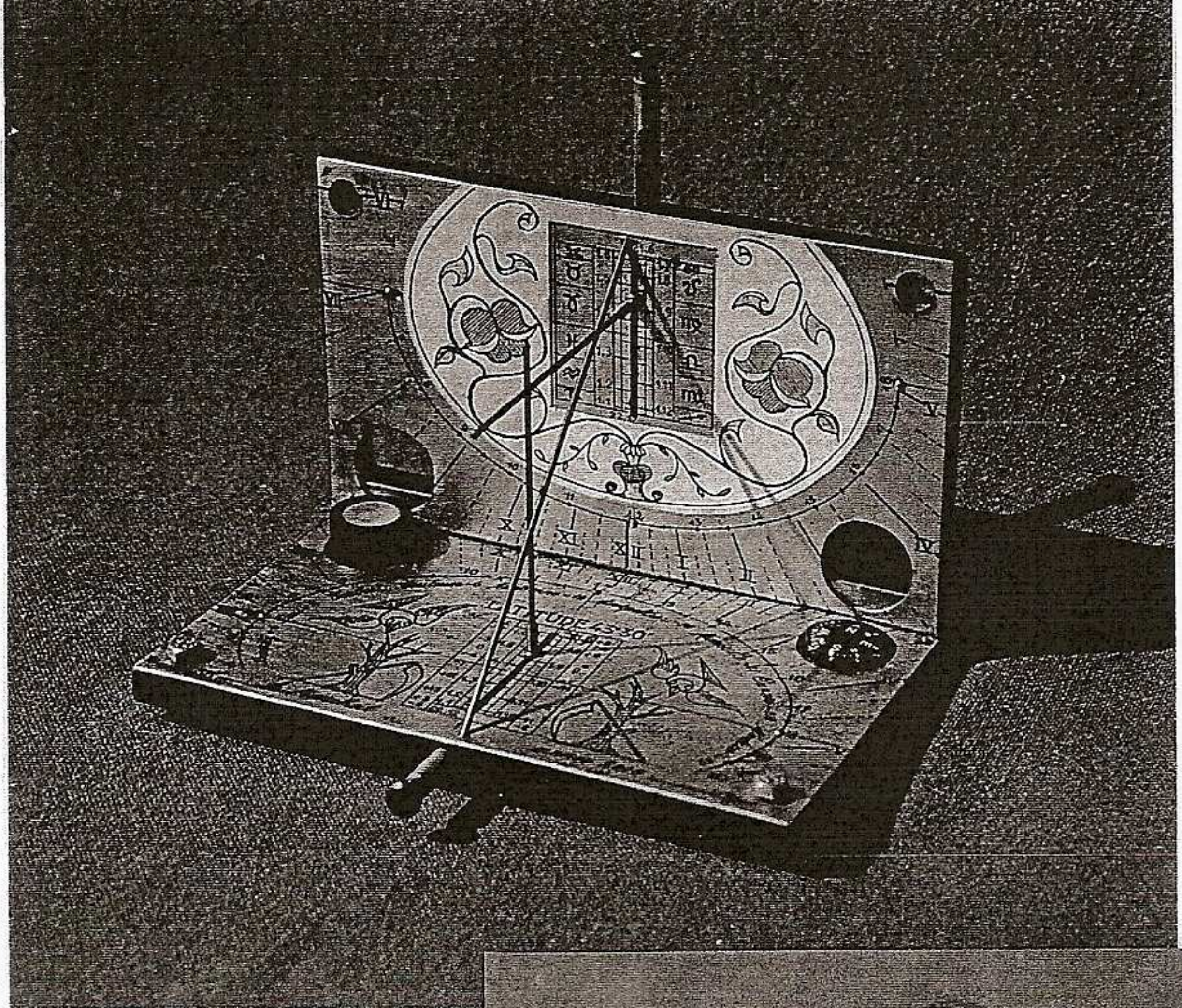
14



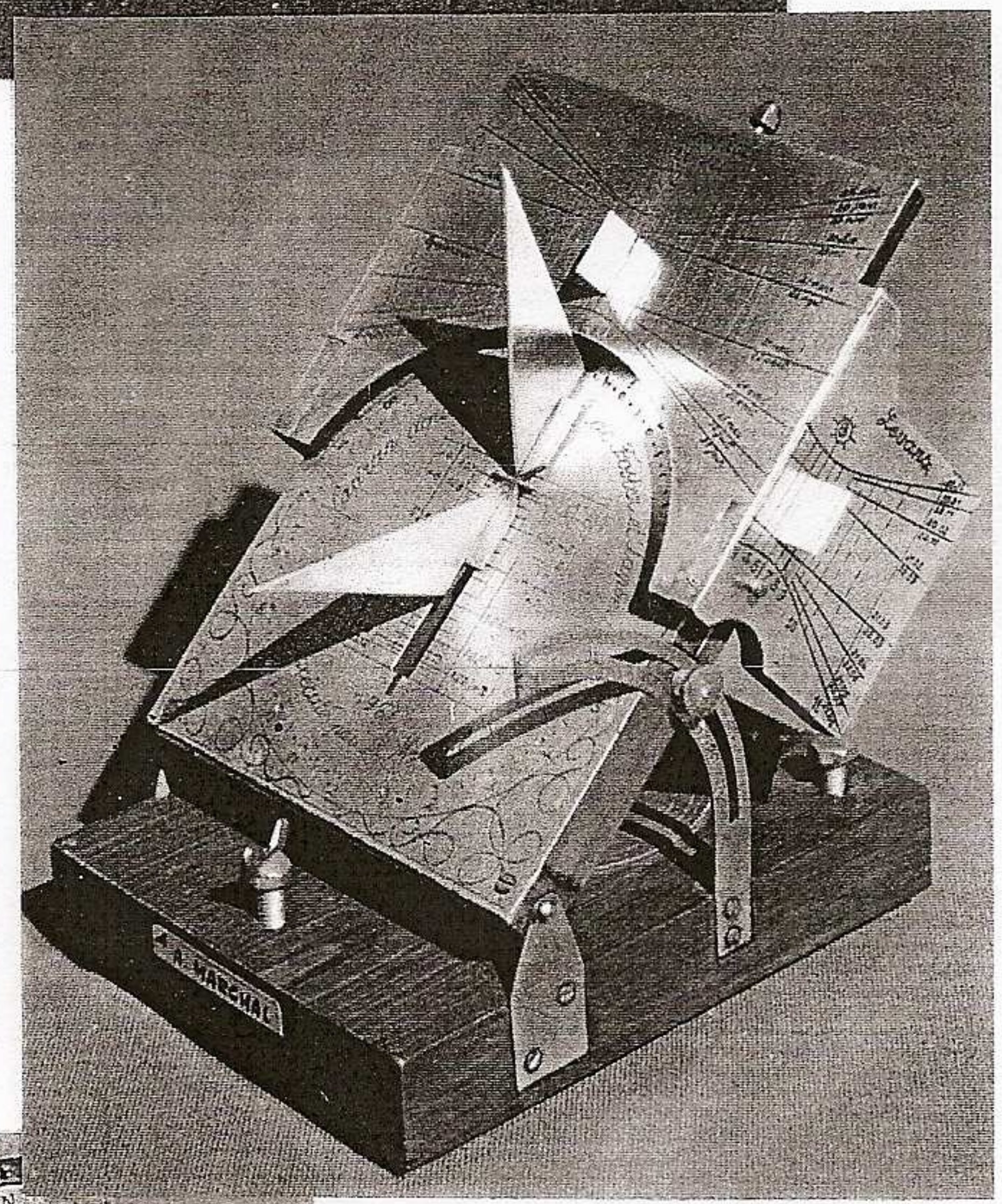
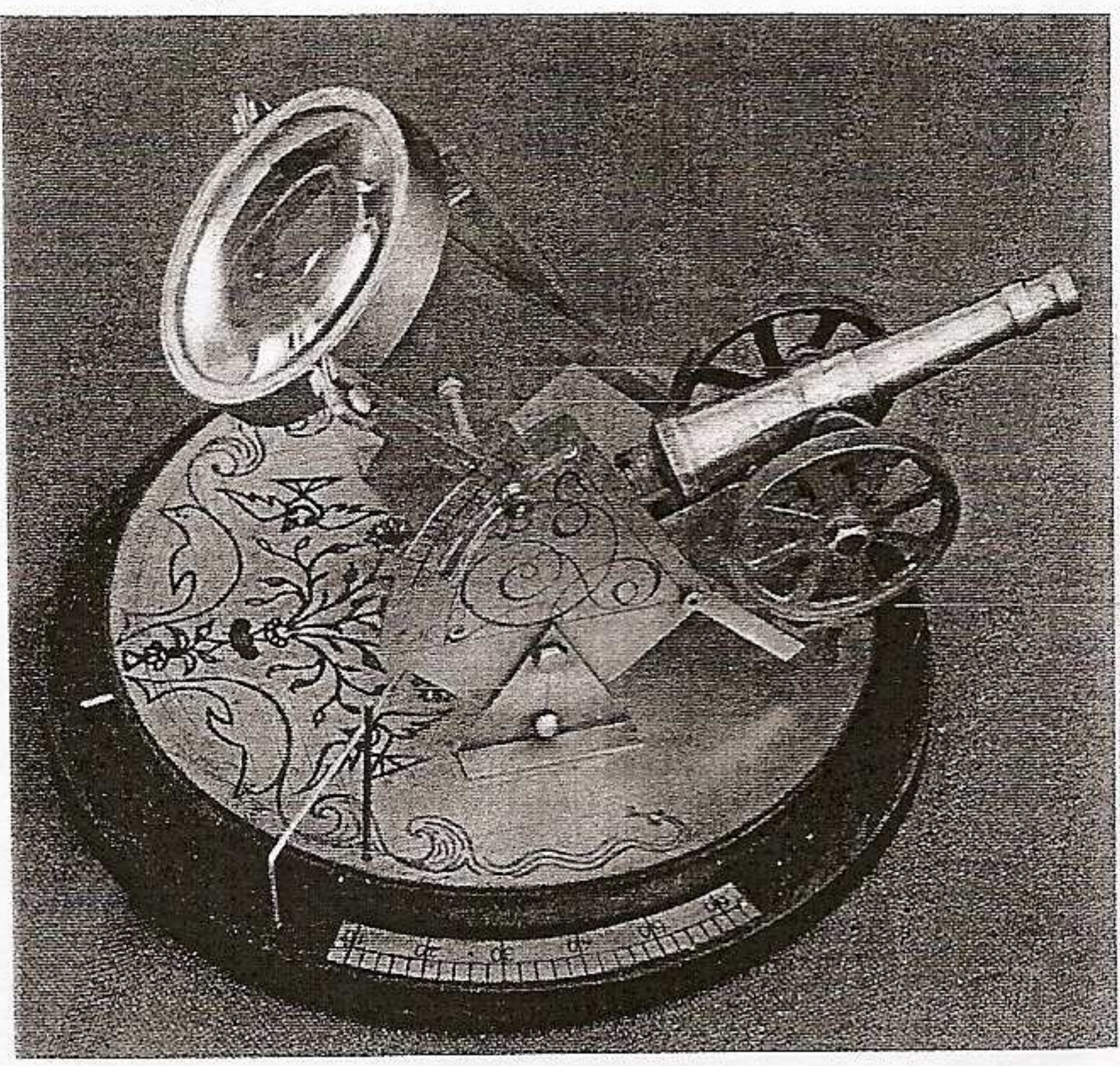
12



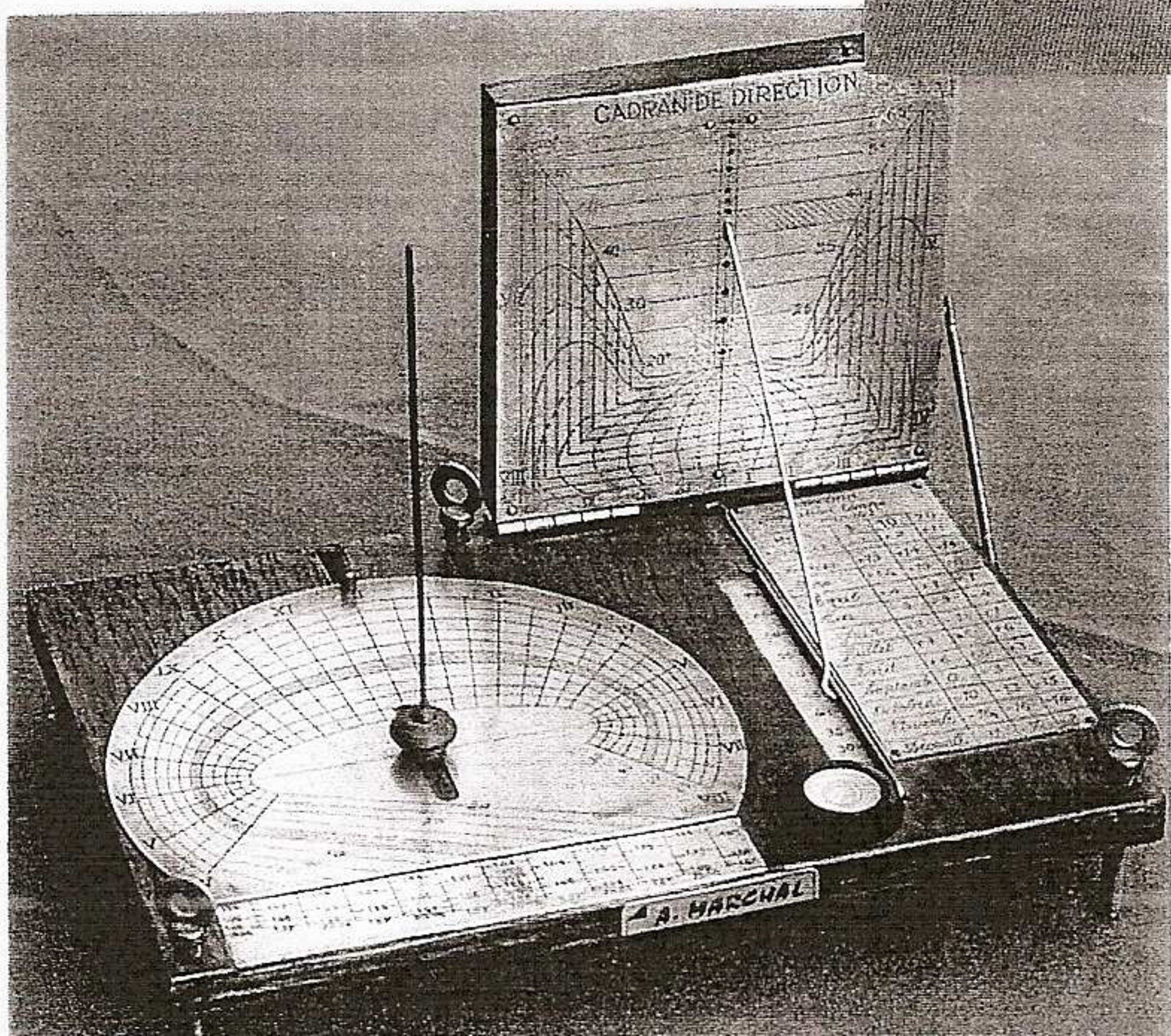
15



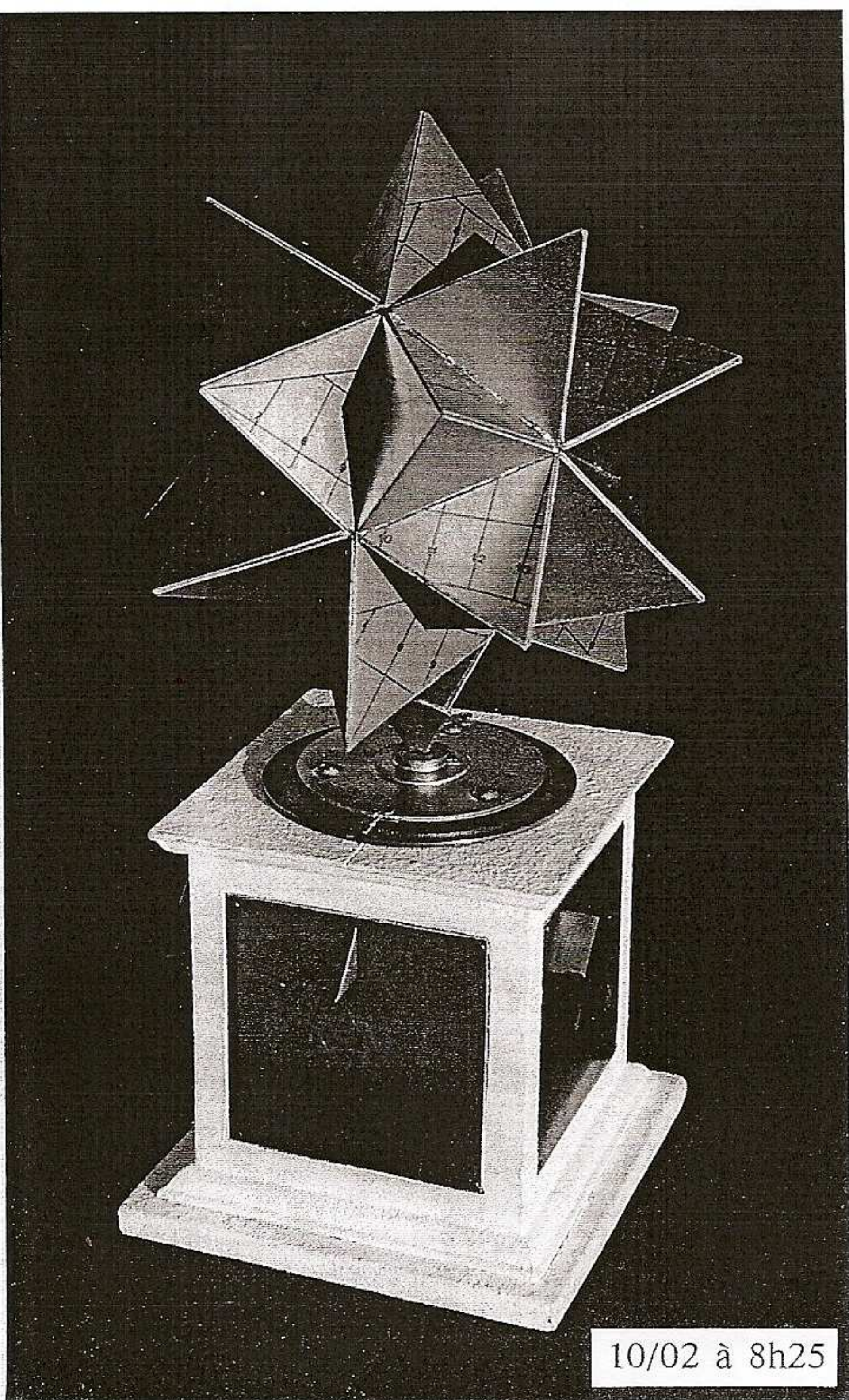
16



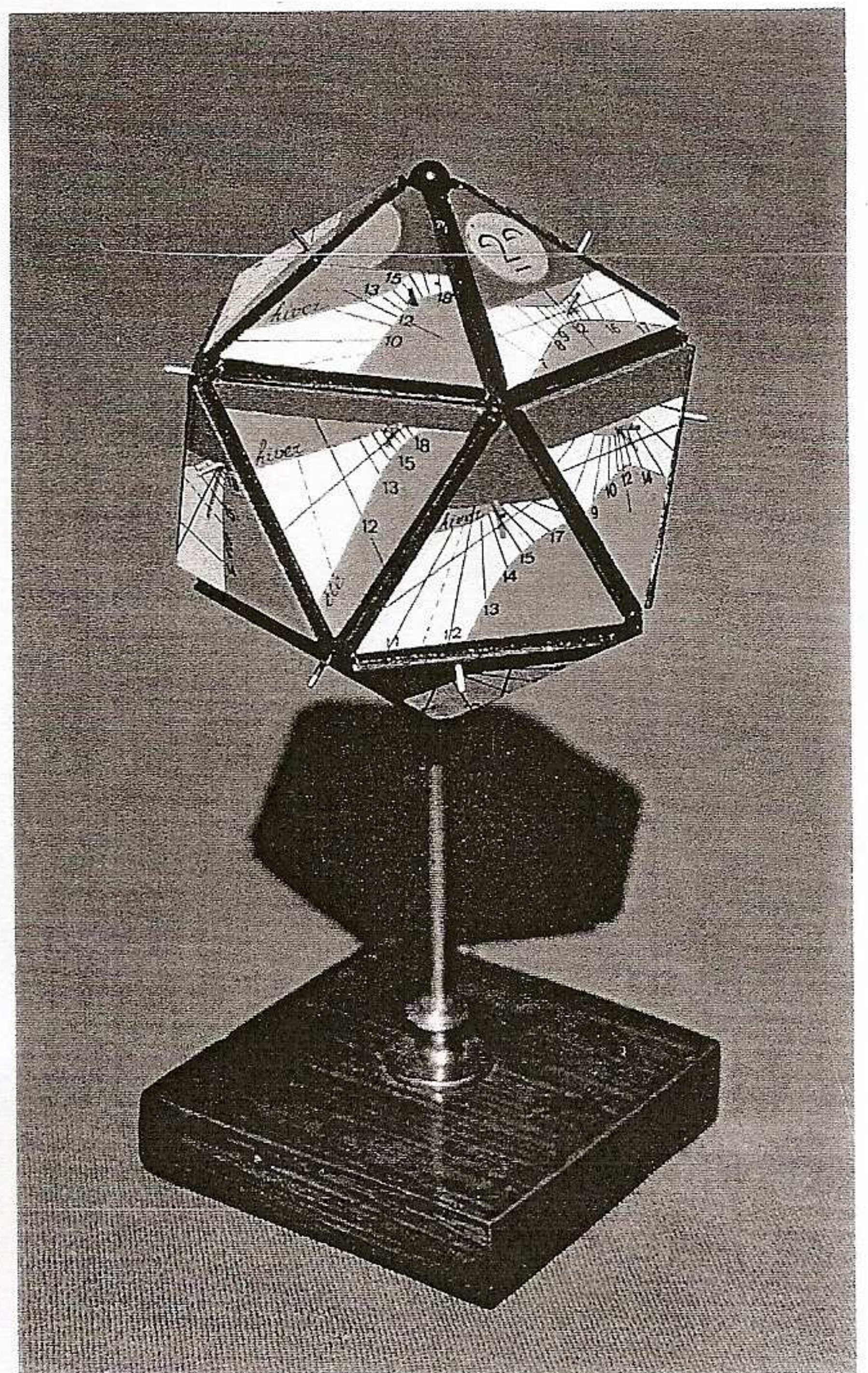
17



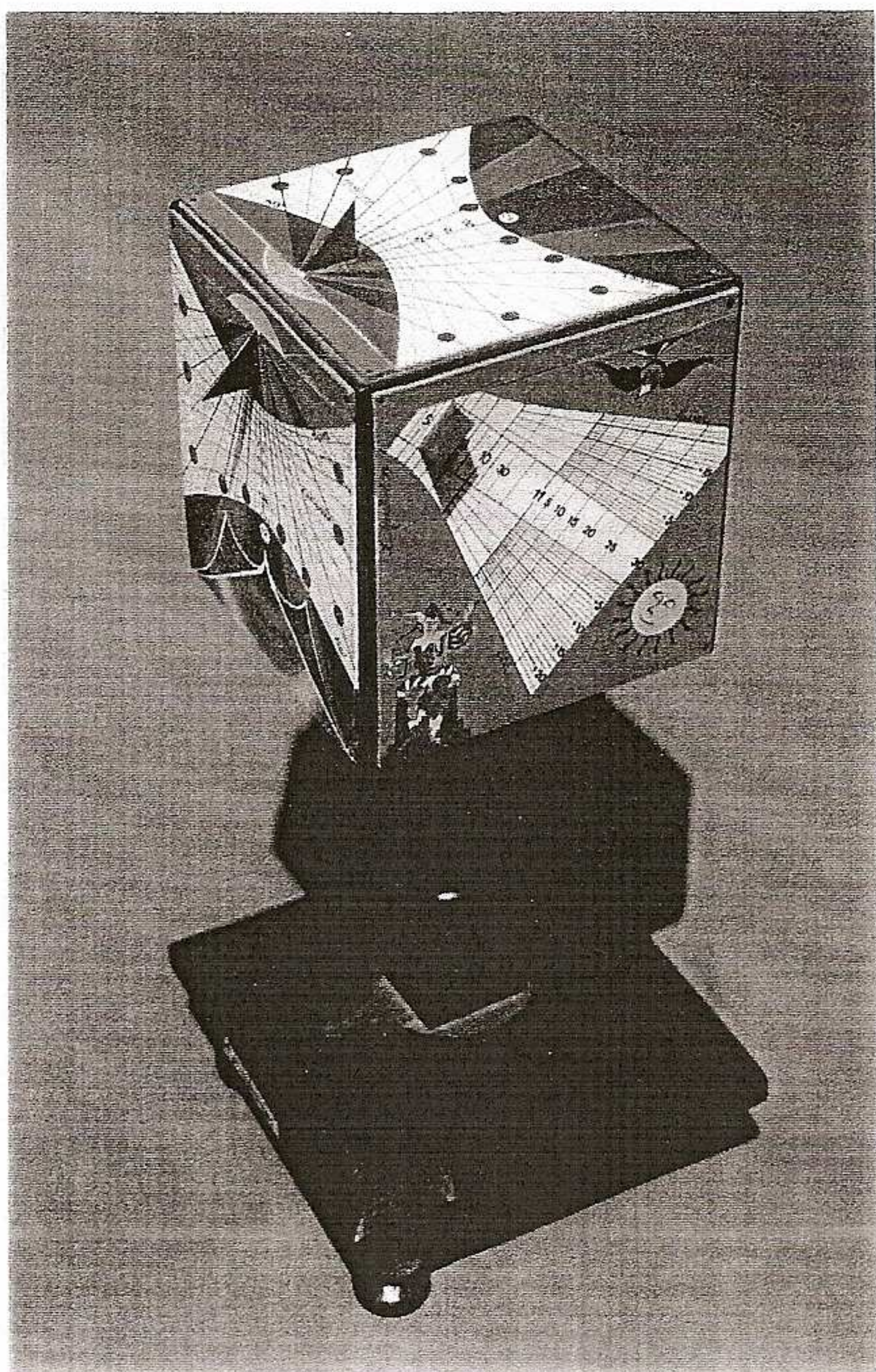
18



19

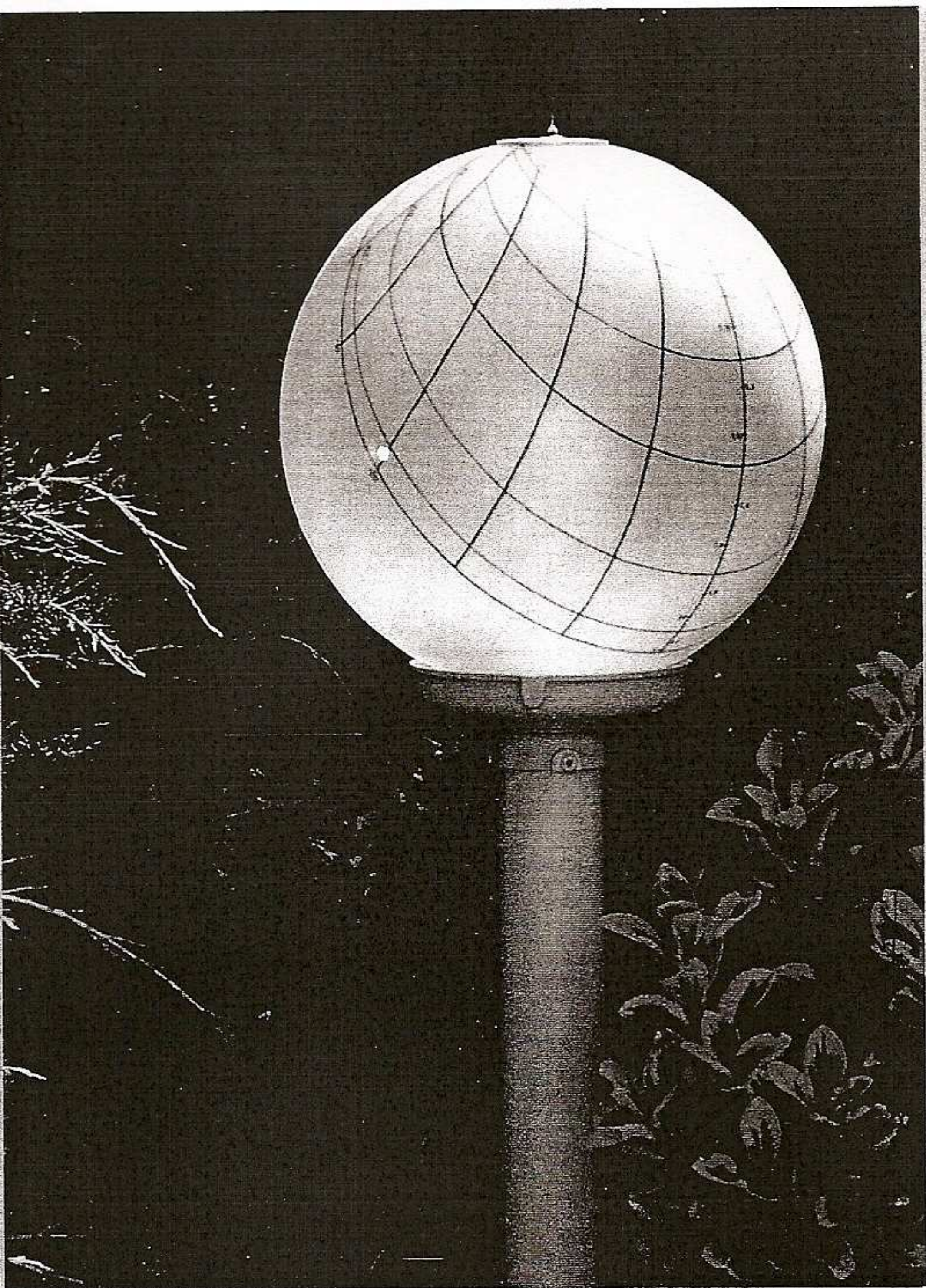


20

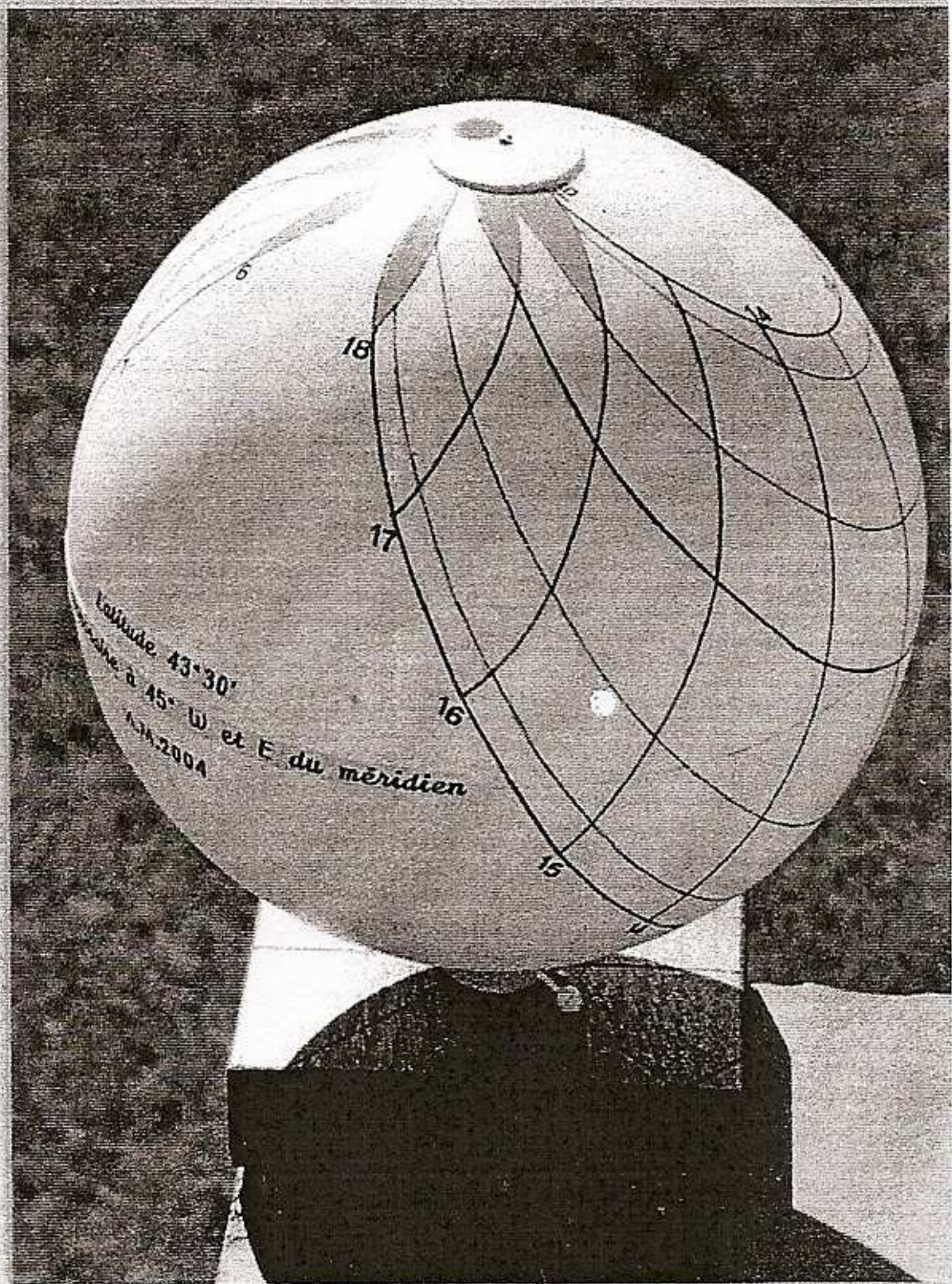


21

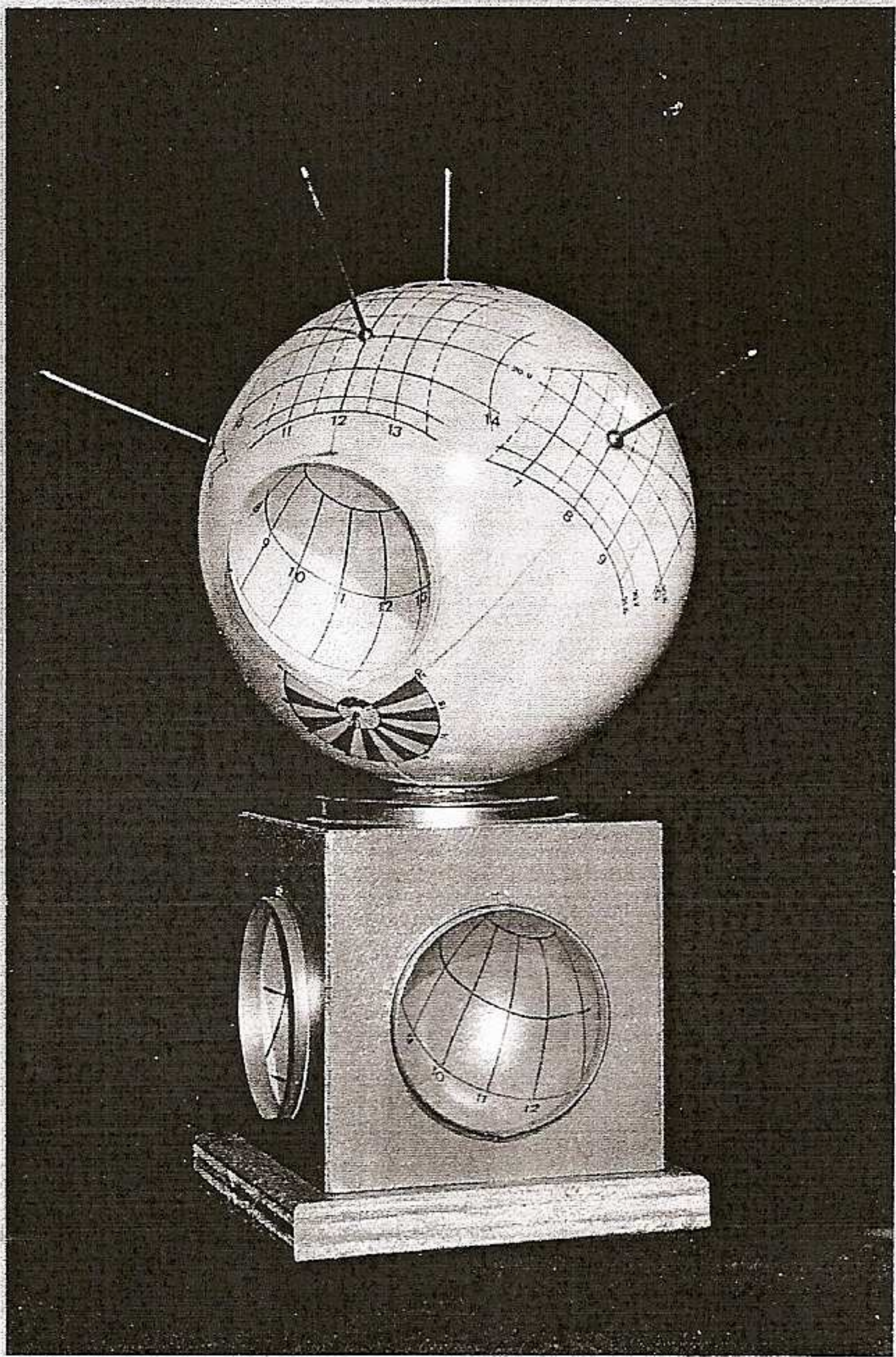
22



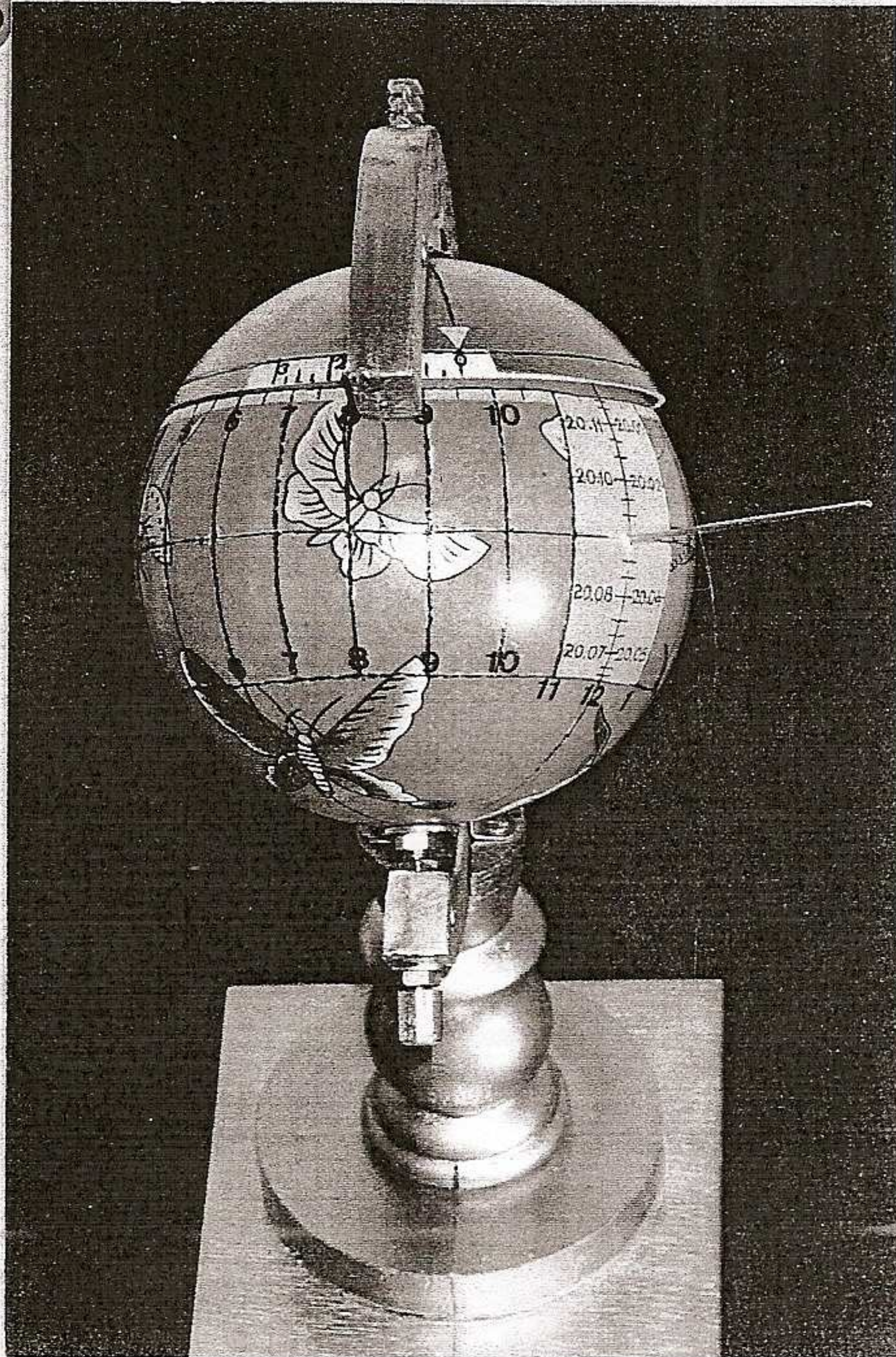
23

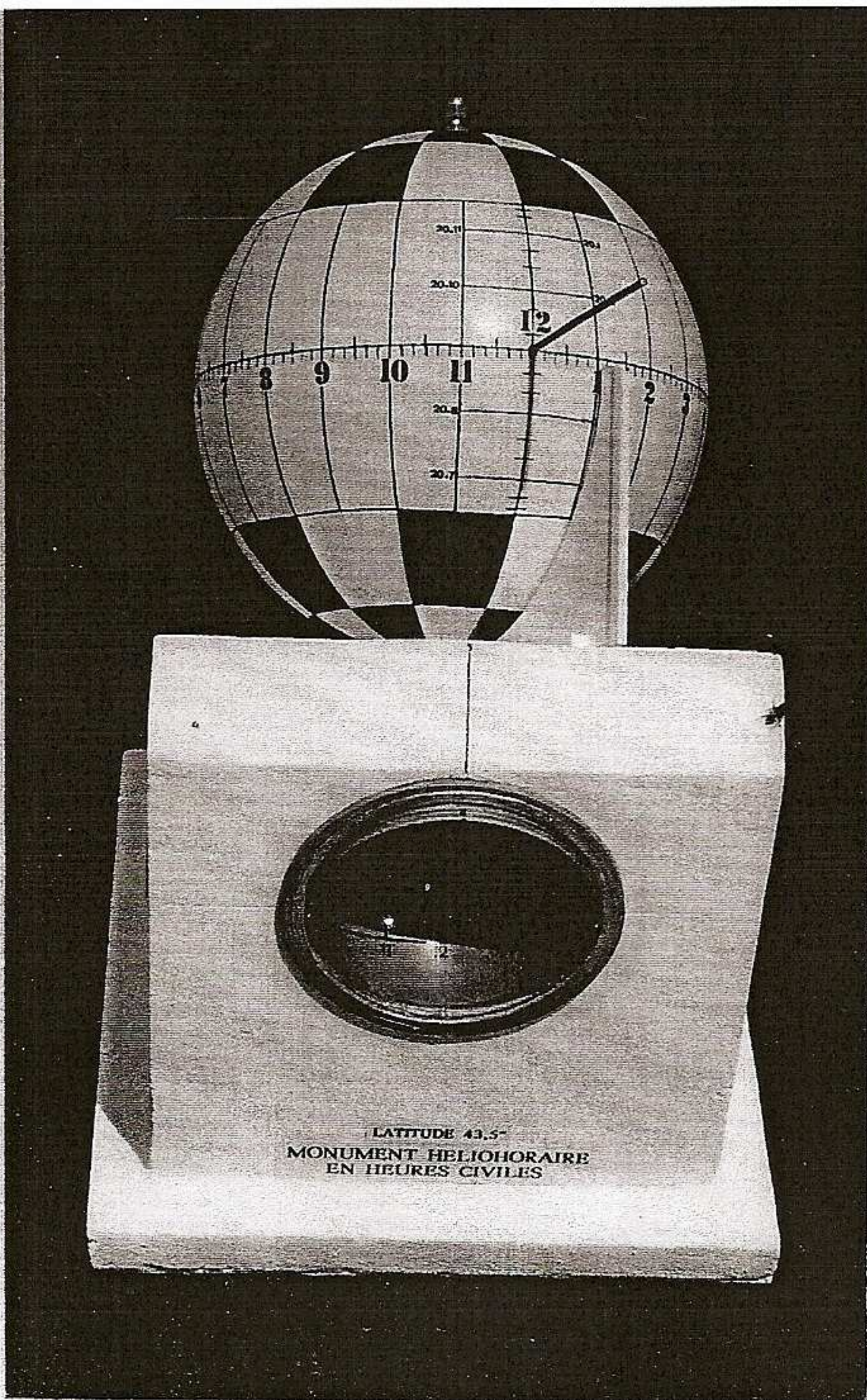


24

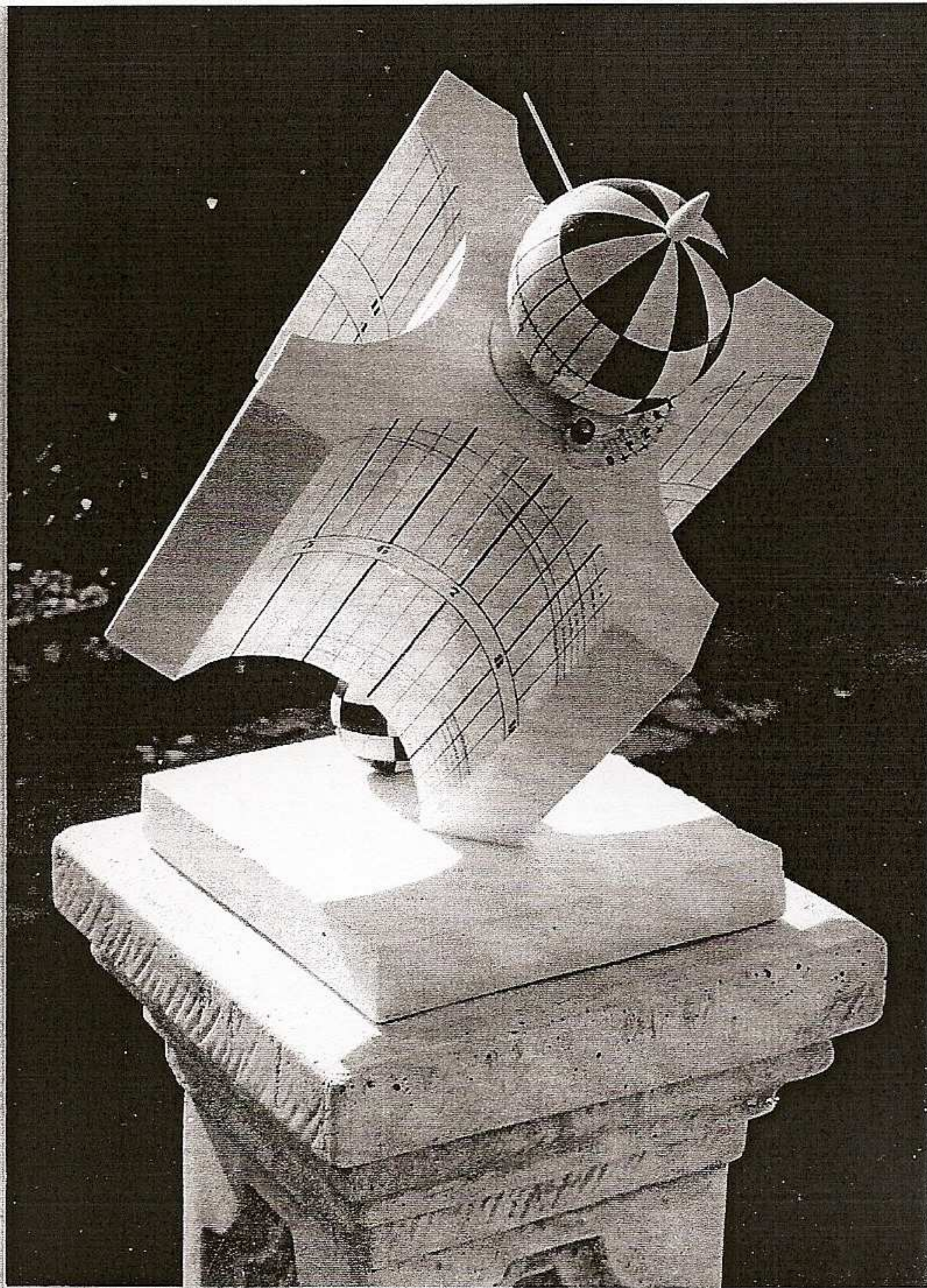


25

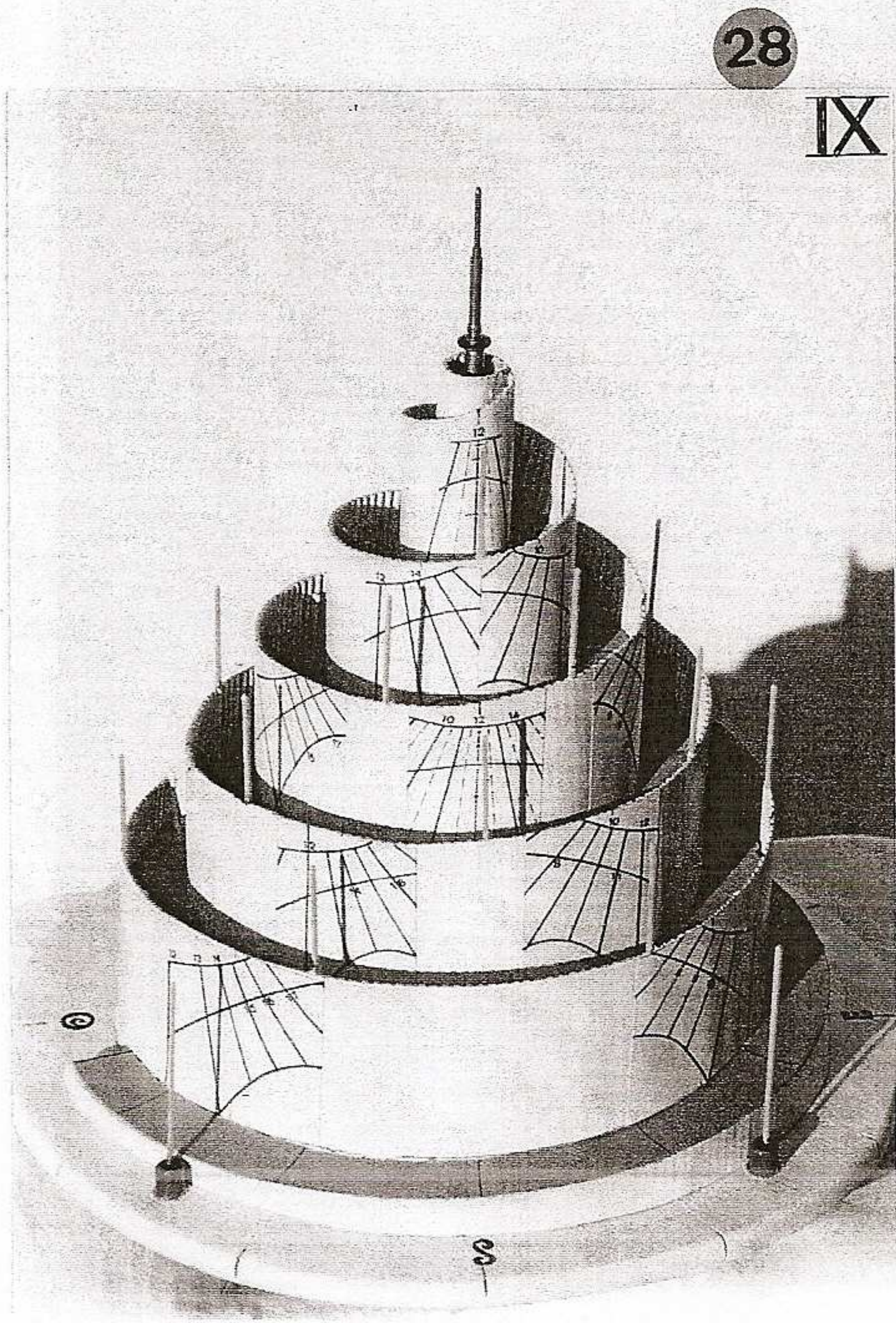




26

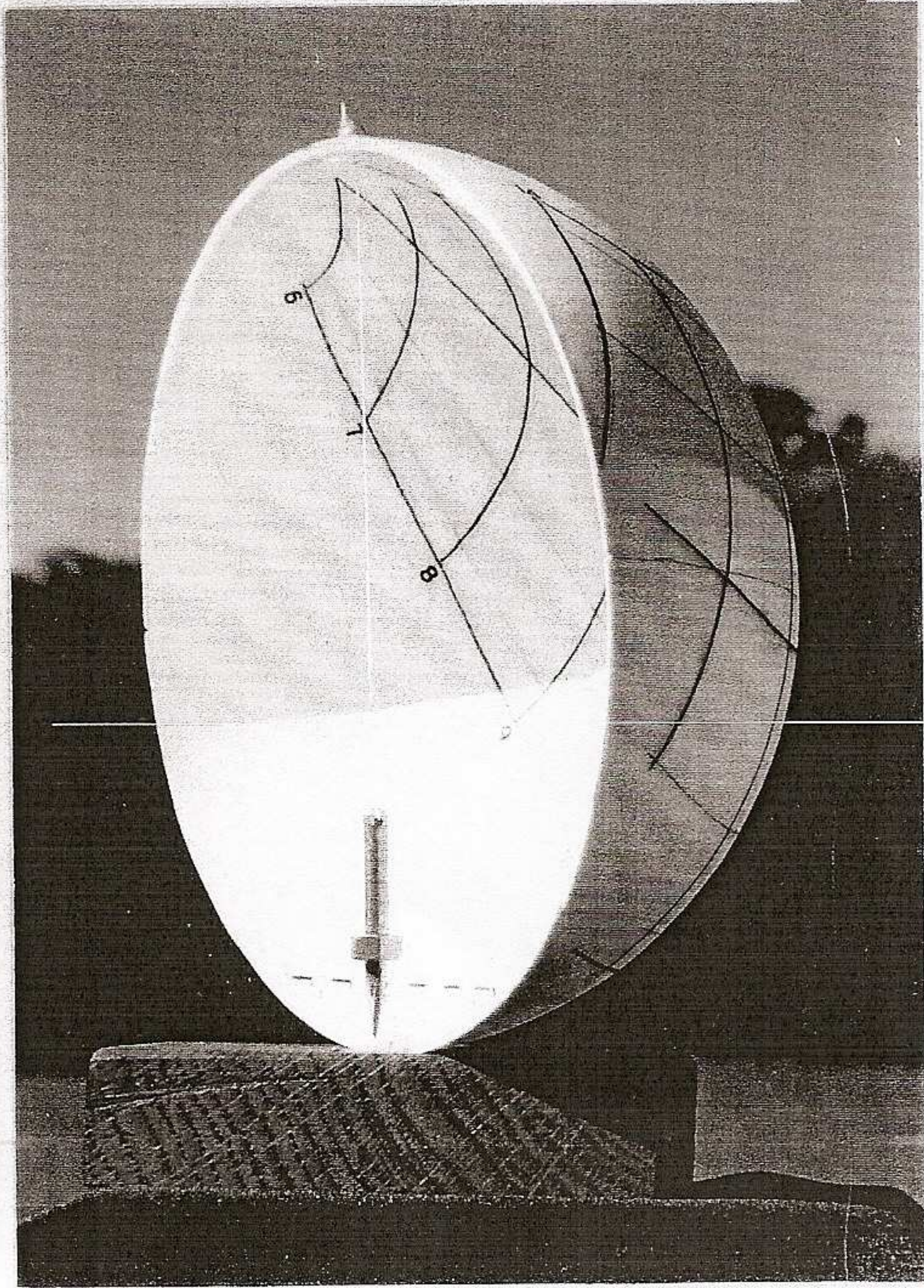


27



28

IX

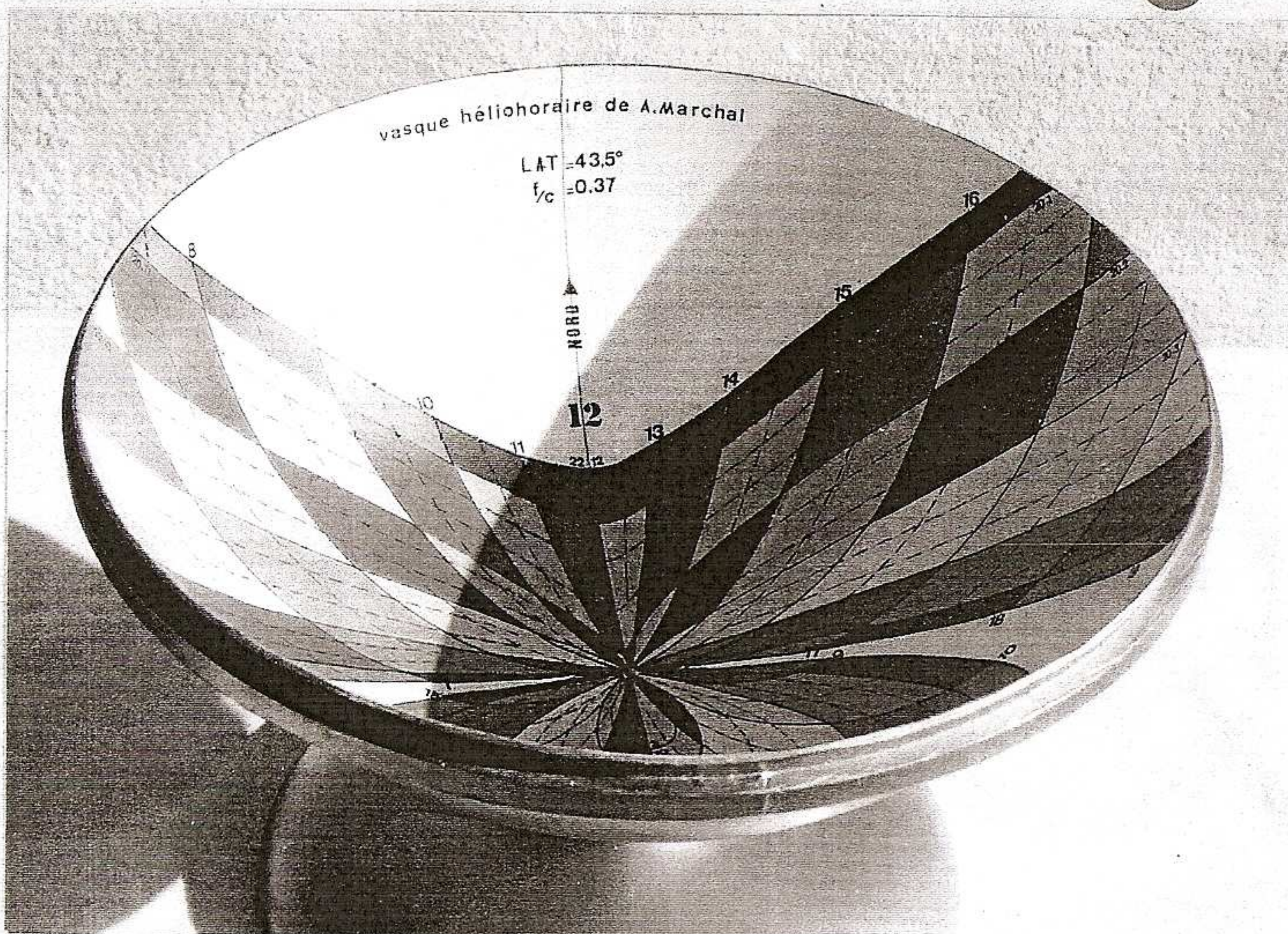


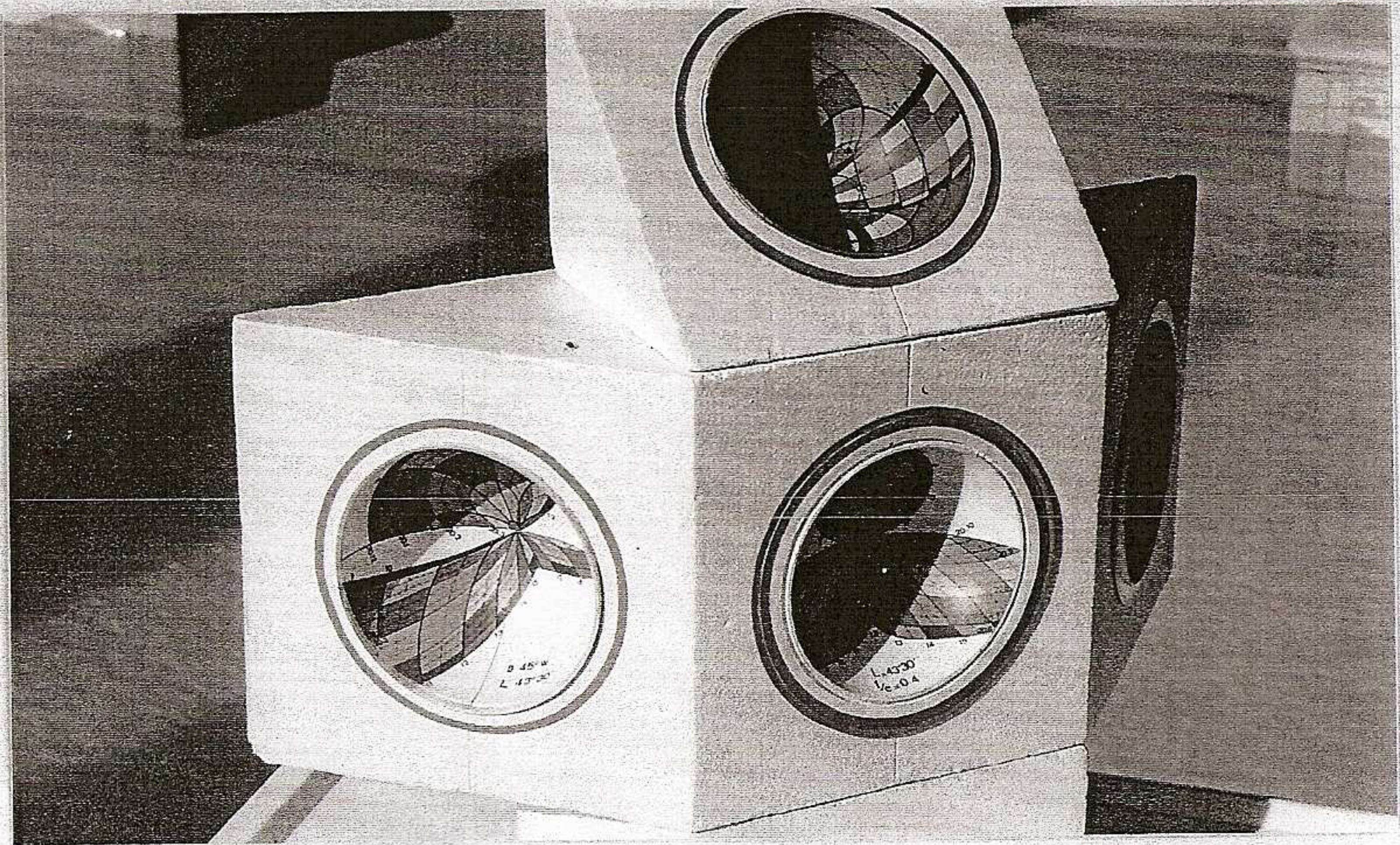
29



30

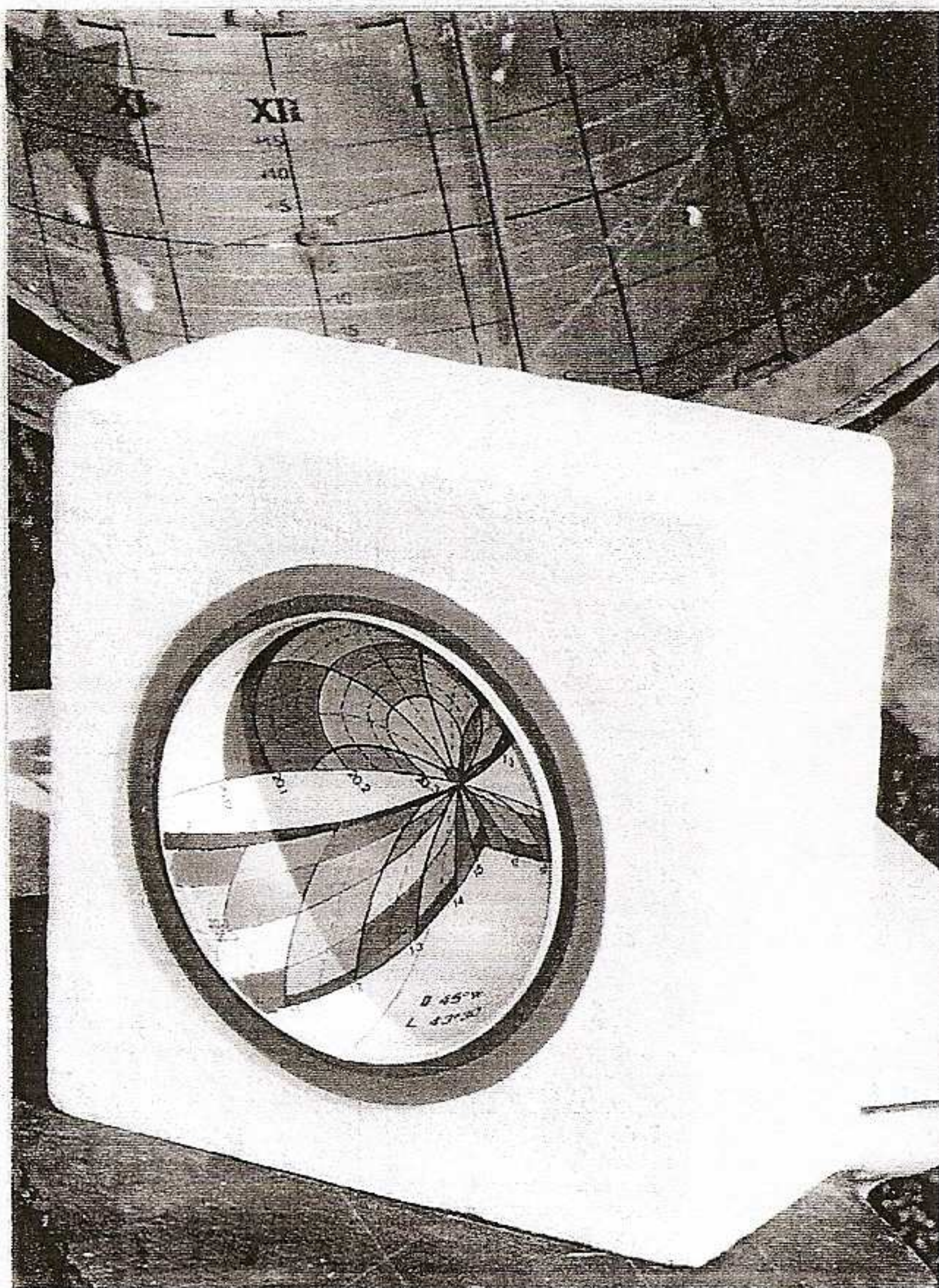
31



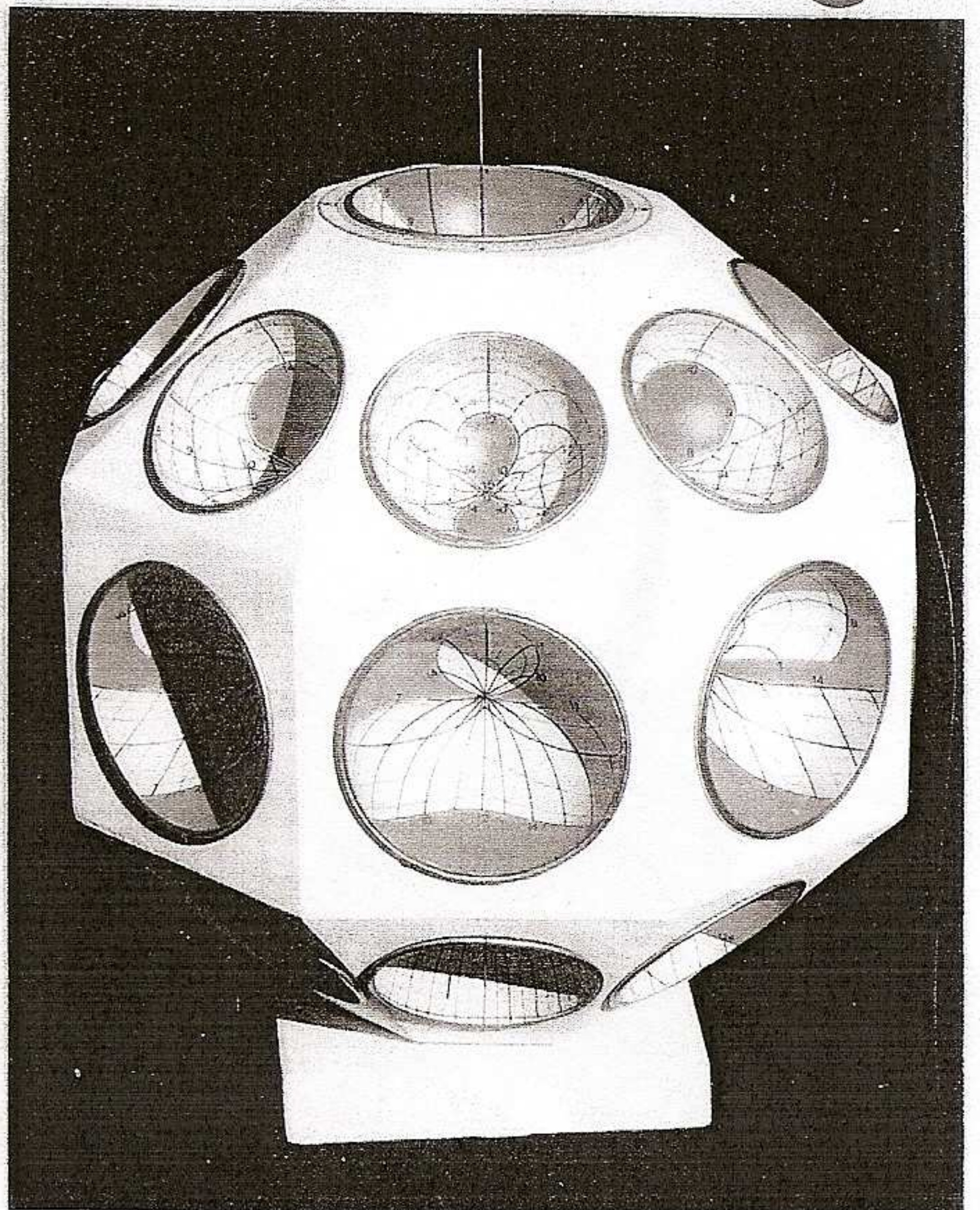


32

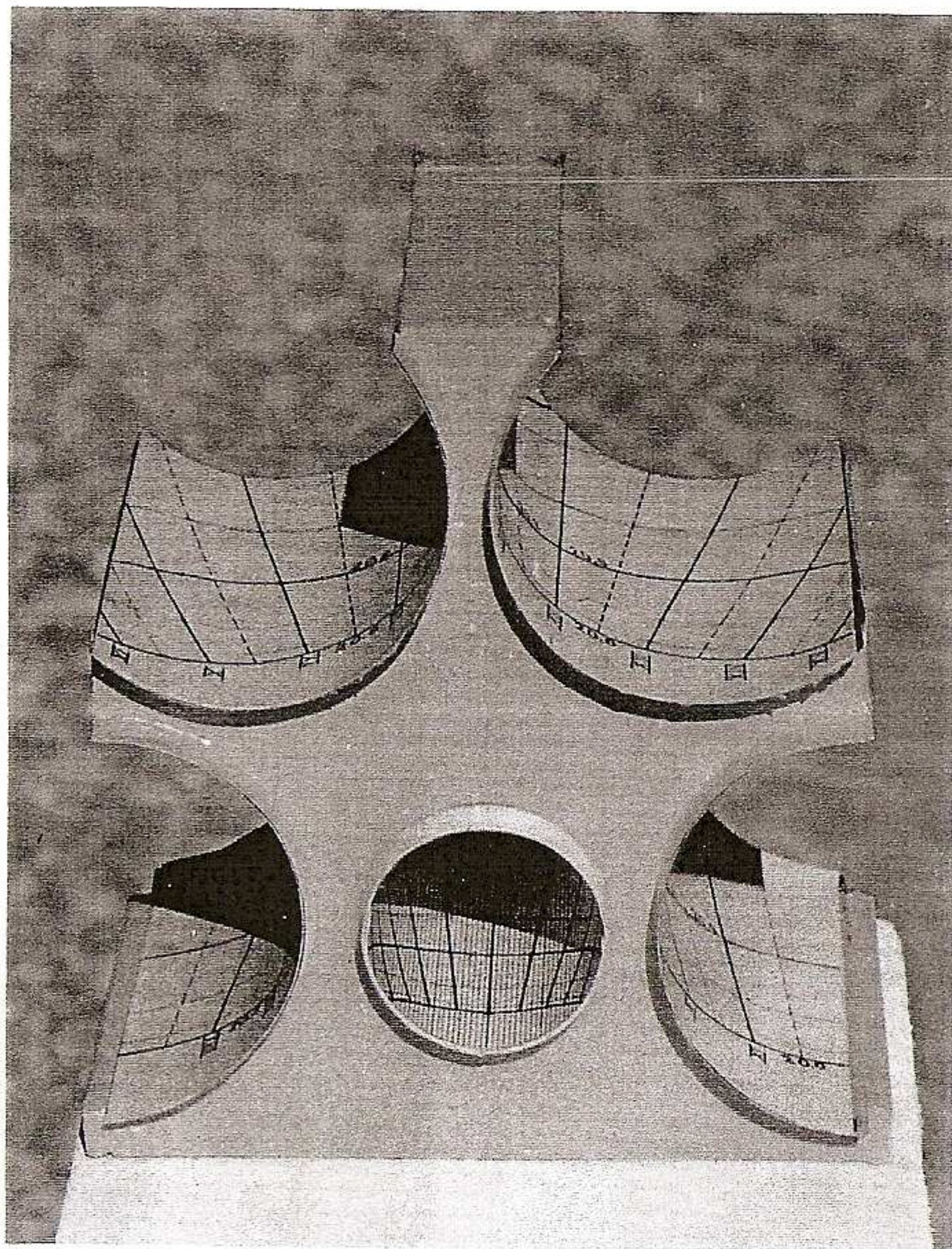
33



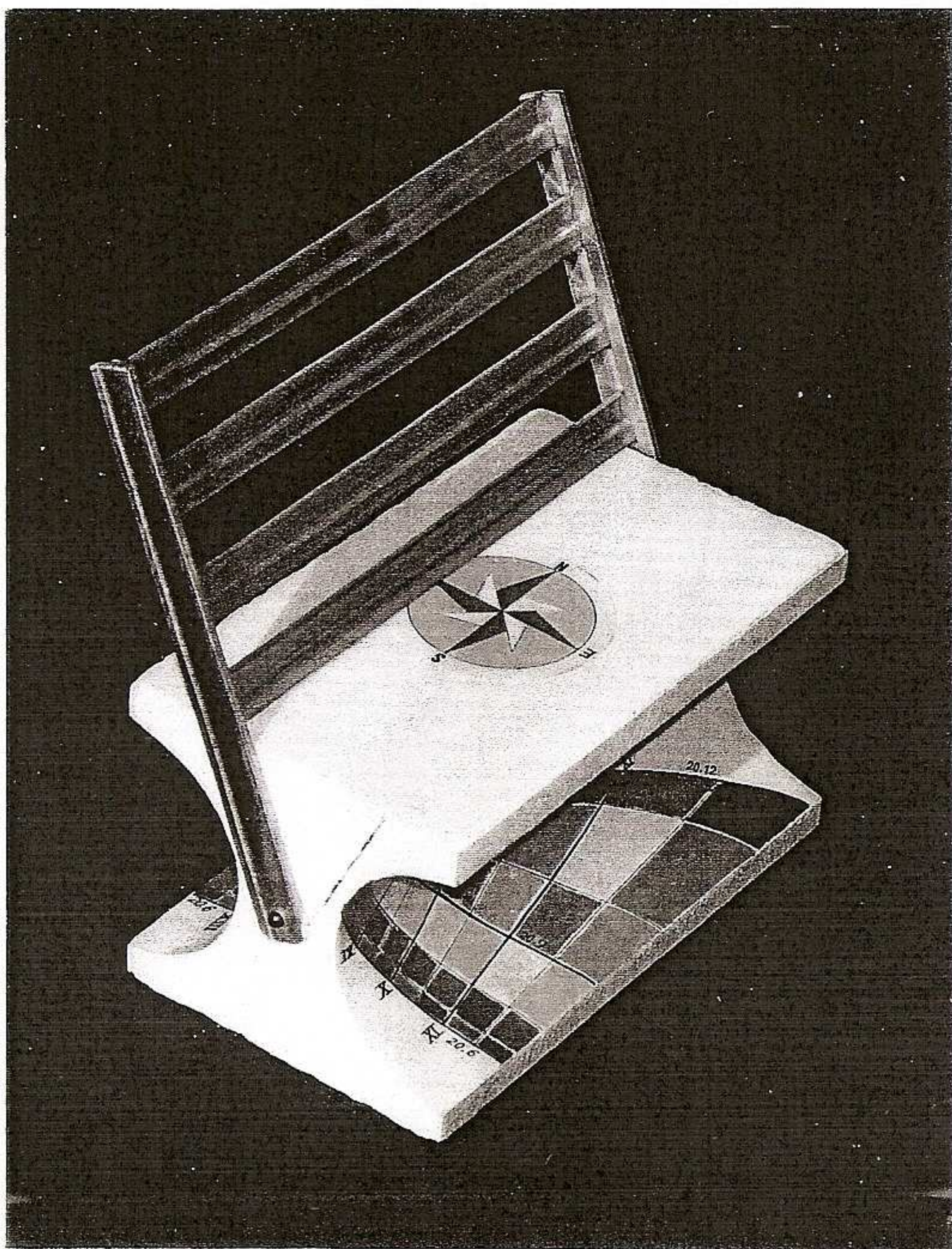
34



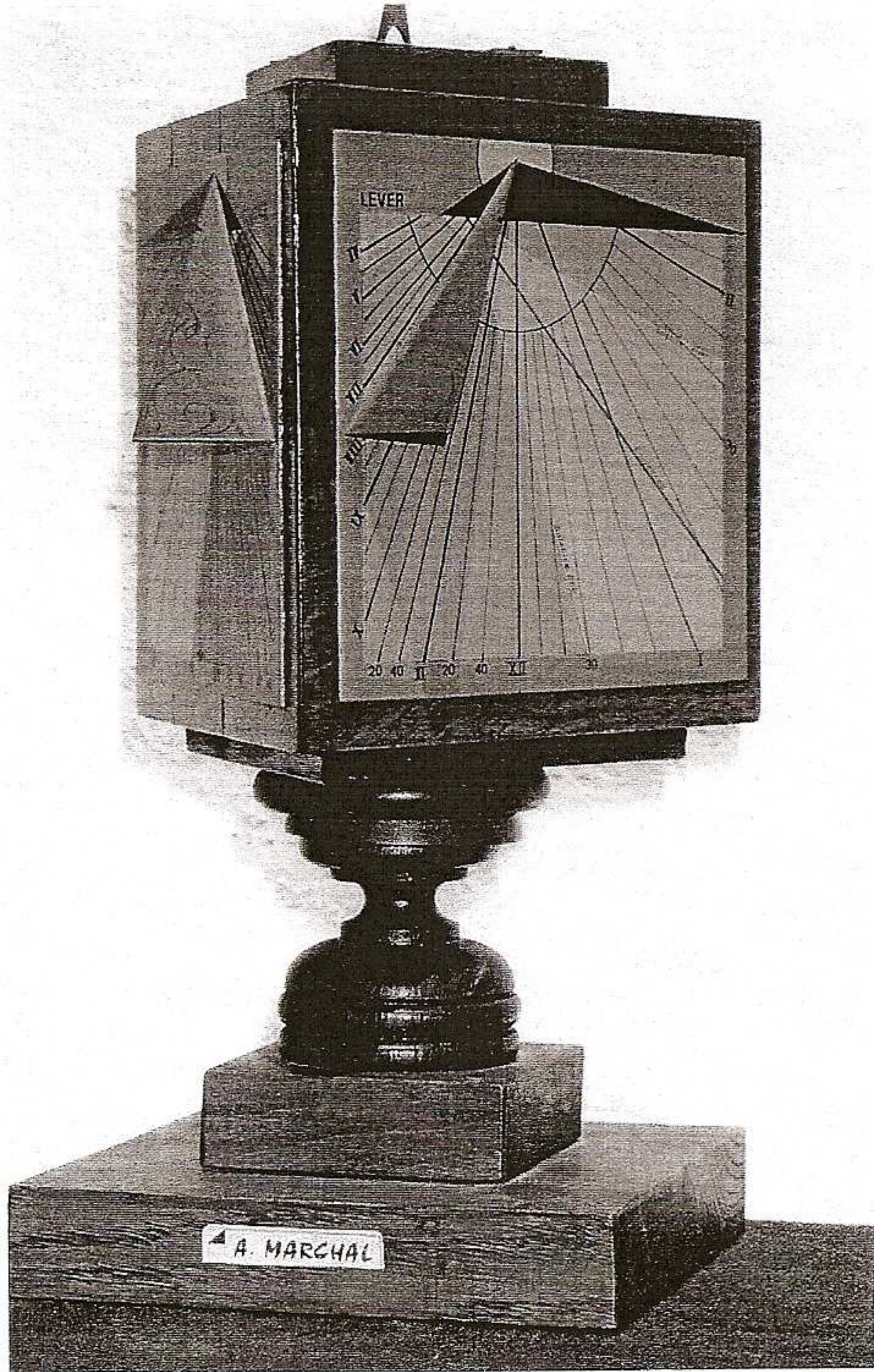
35



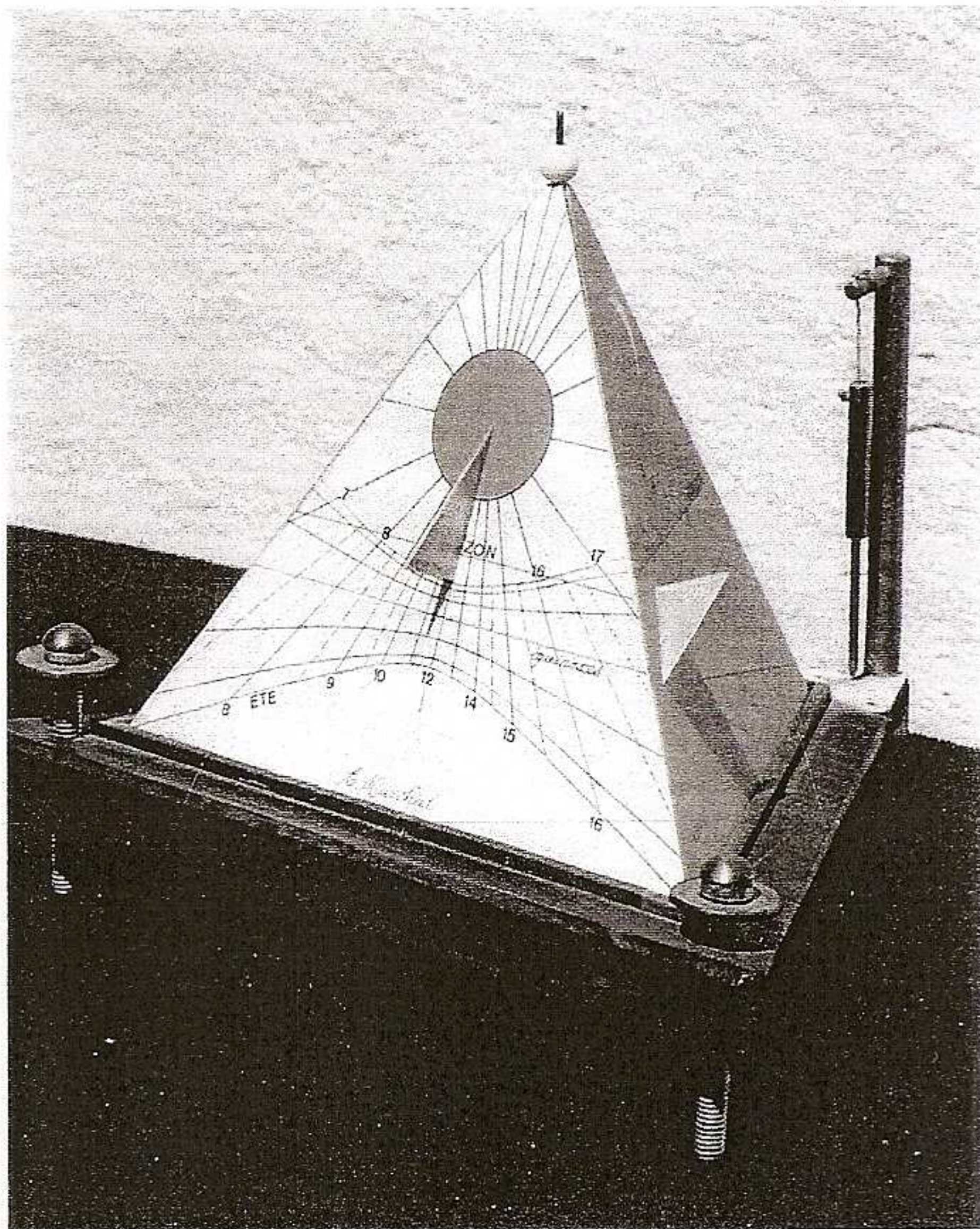
36



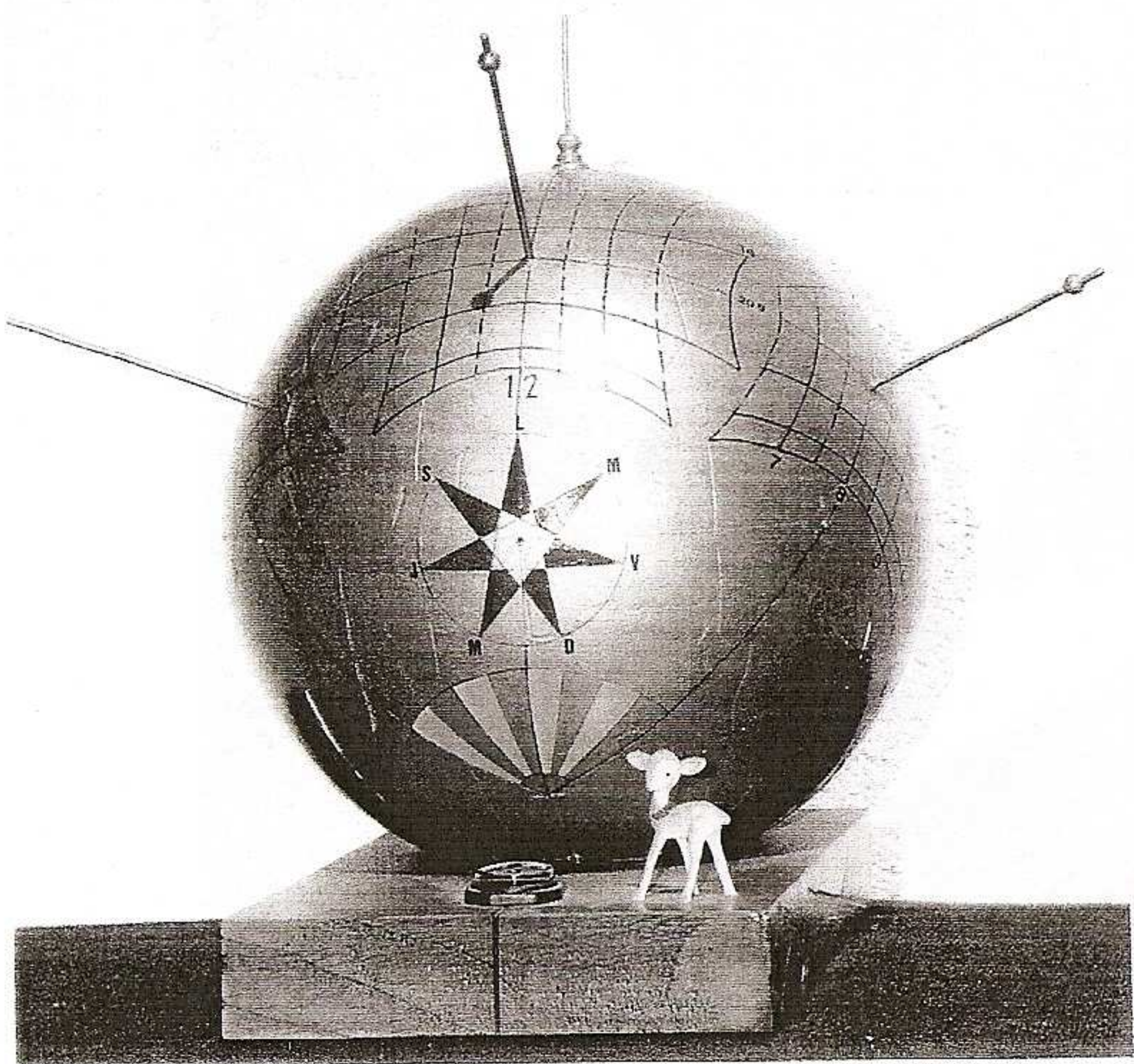
37

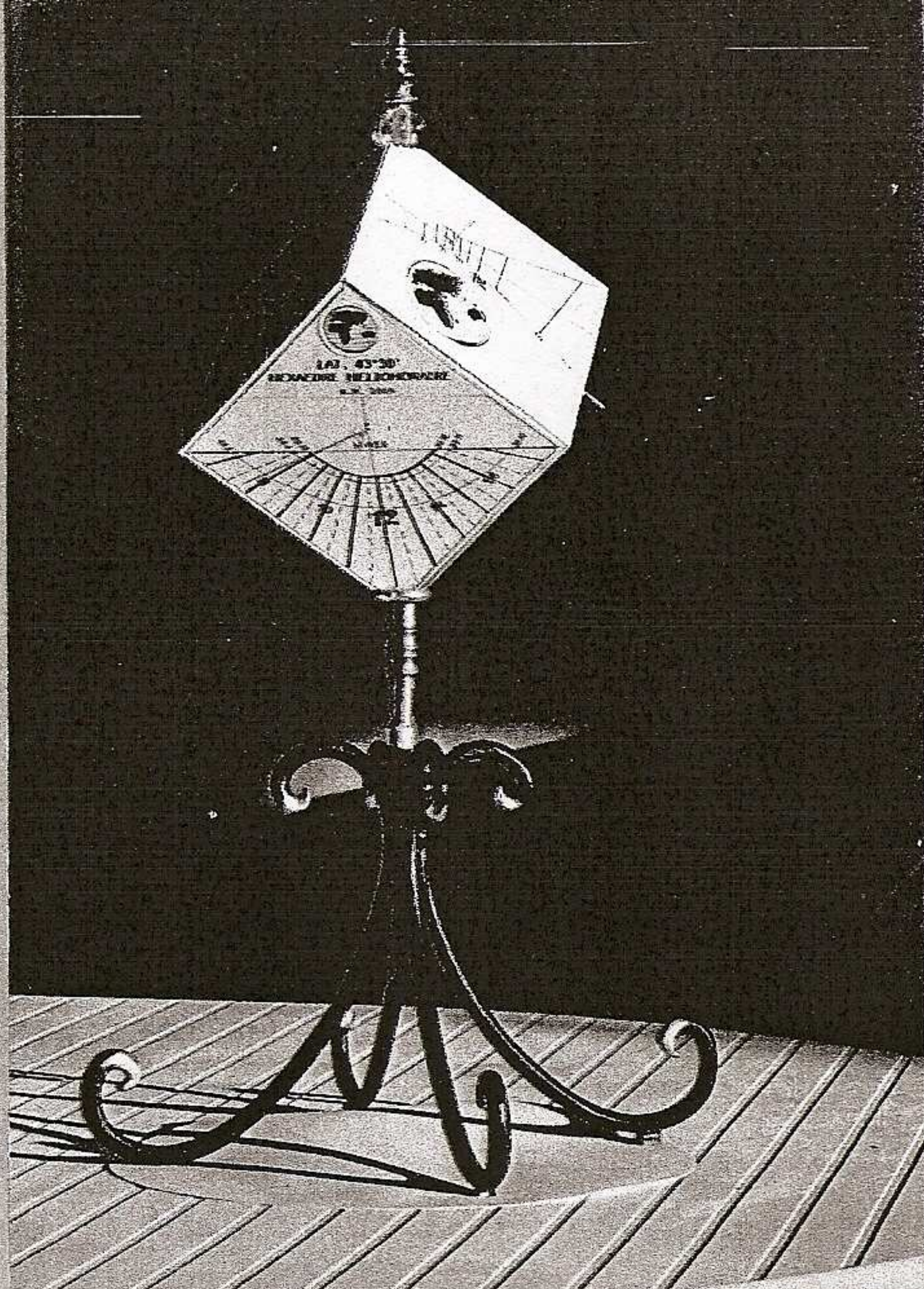


38



39

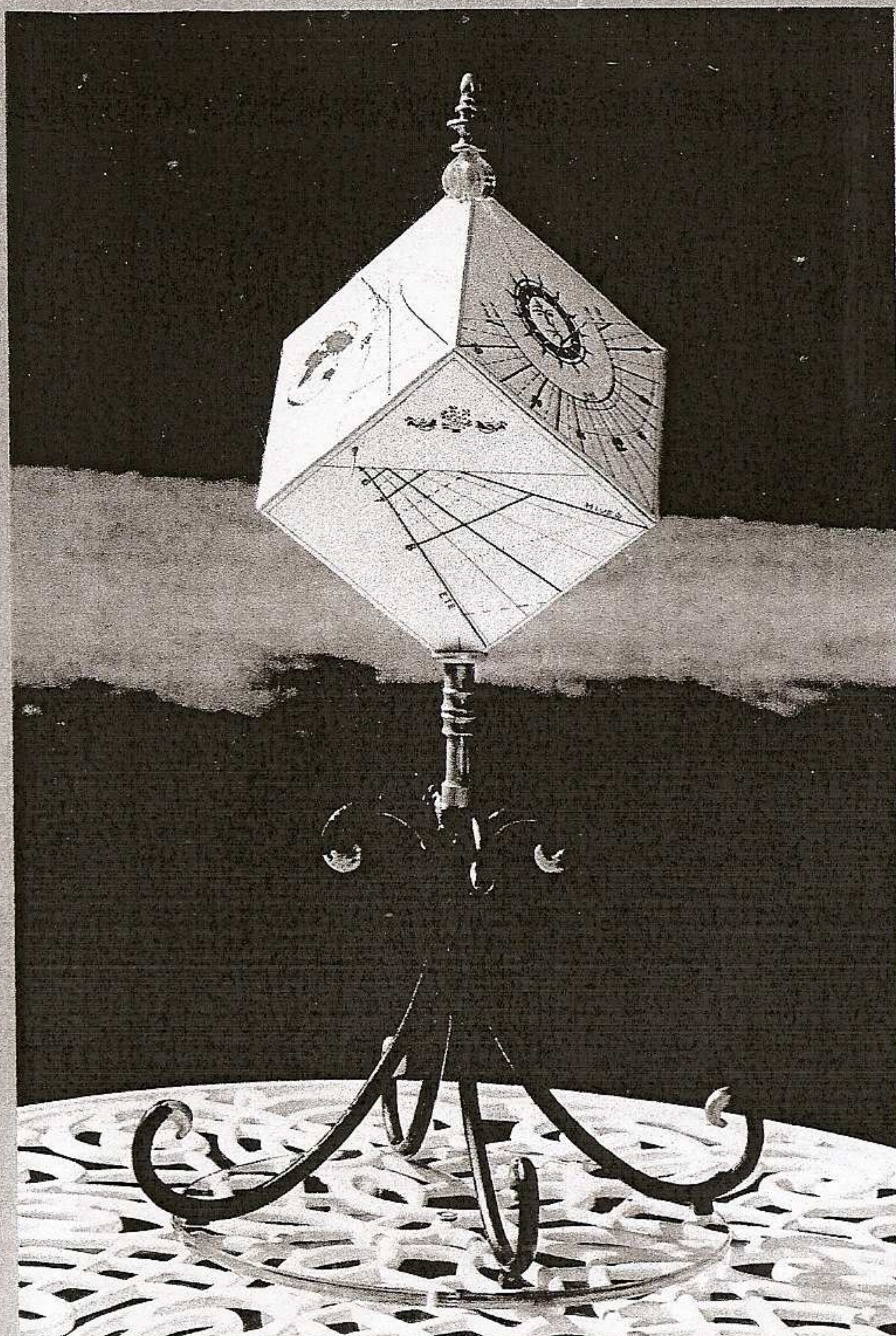


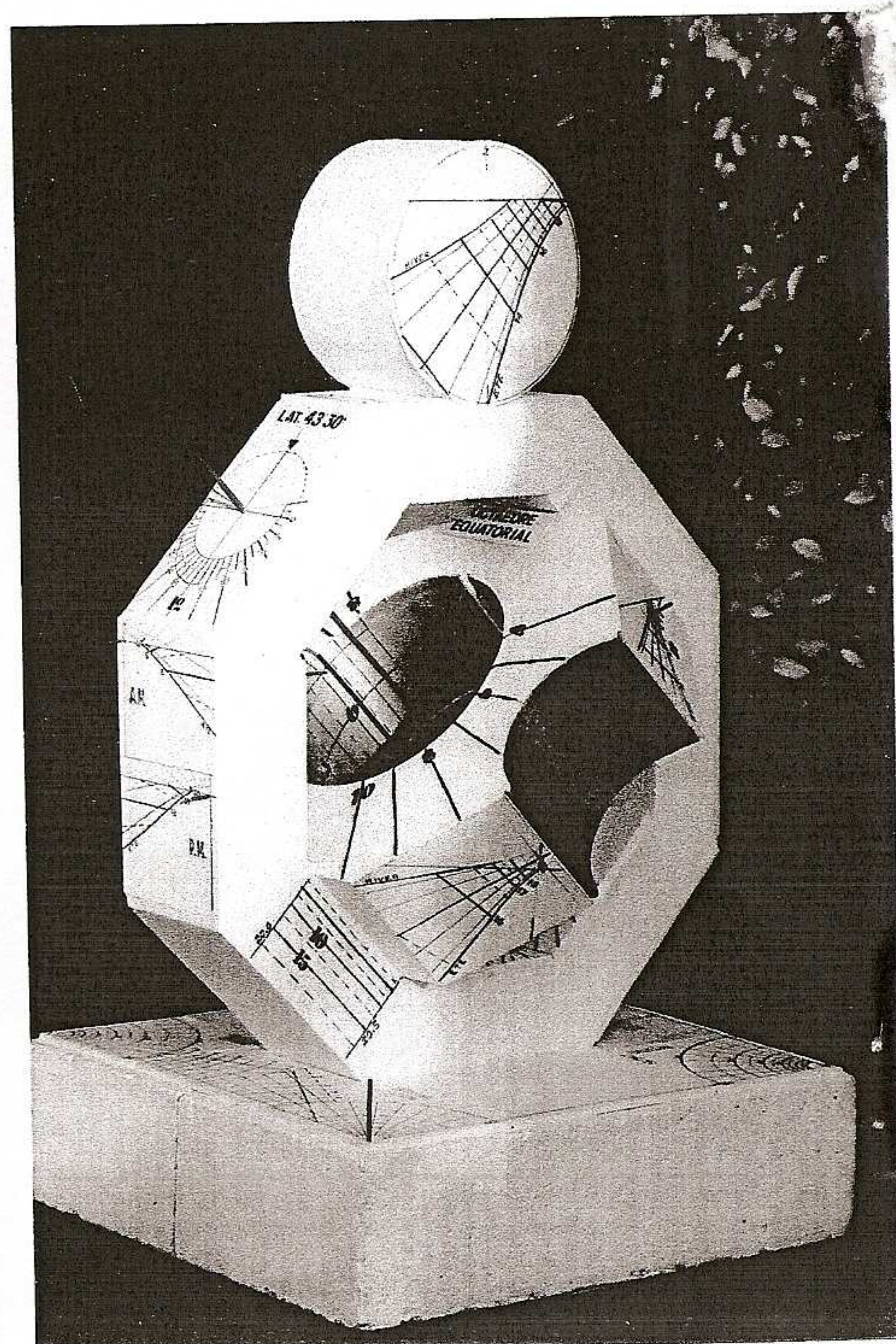
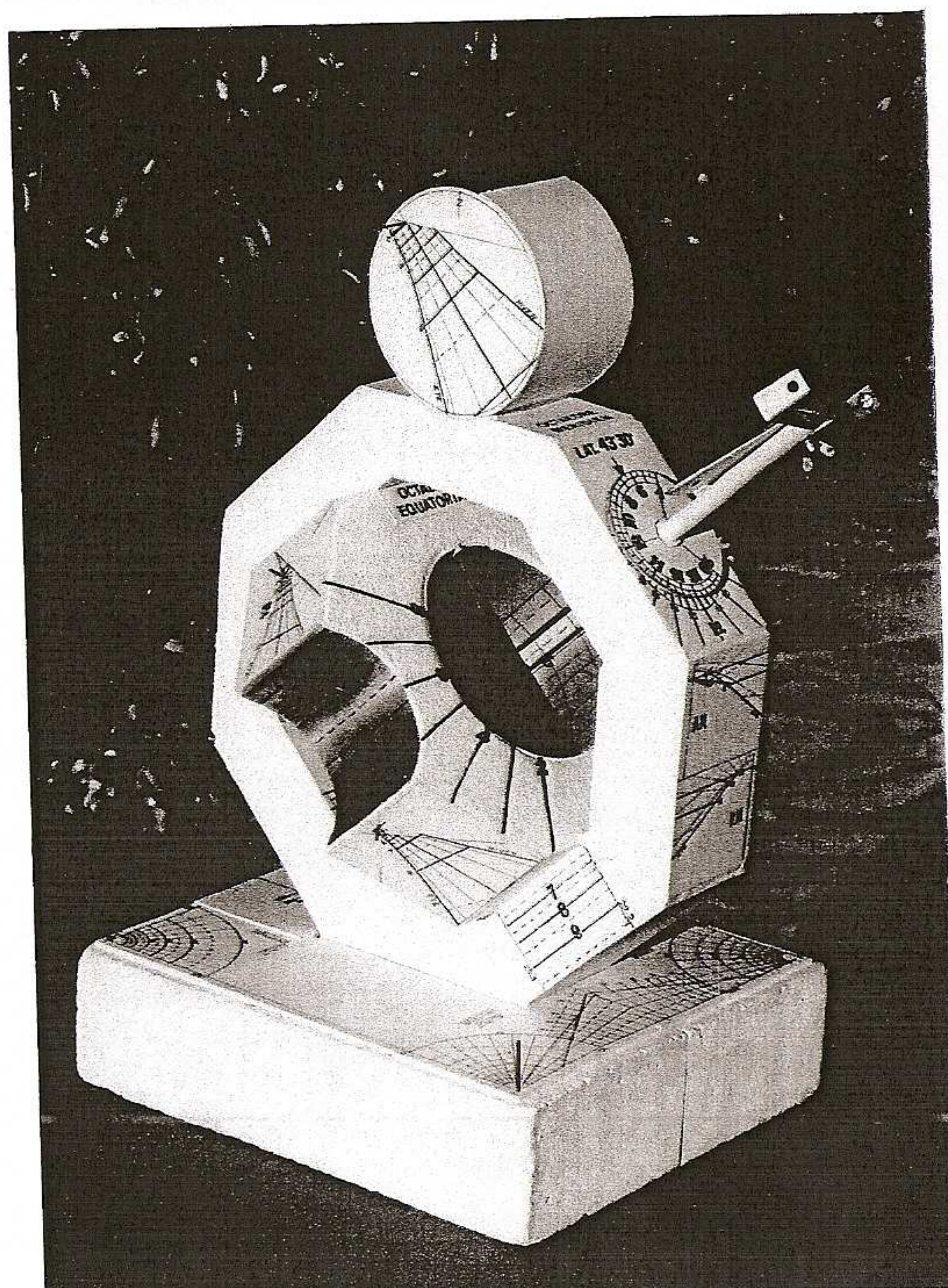
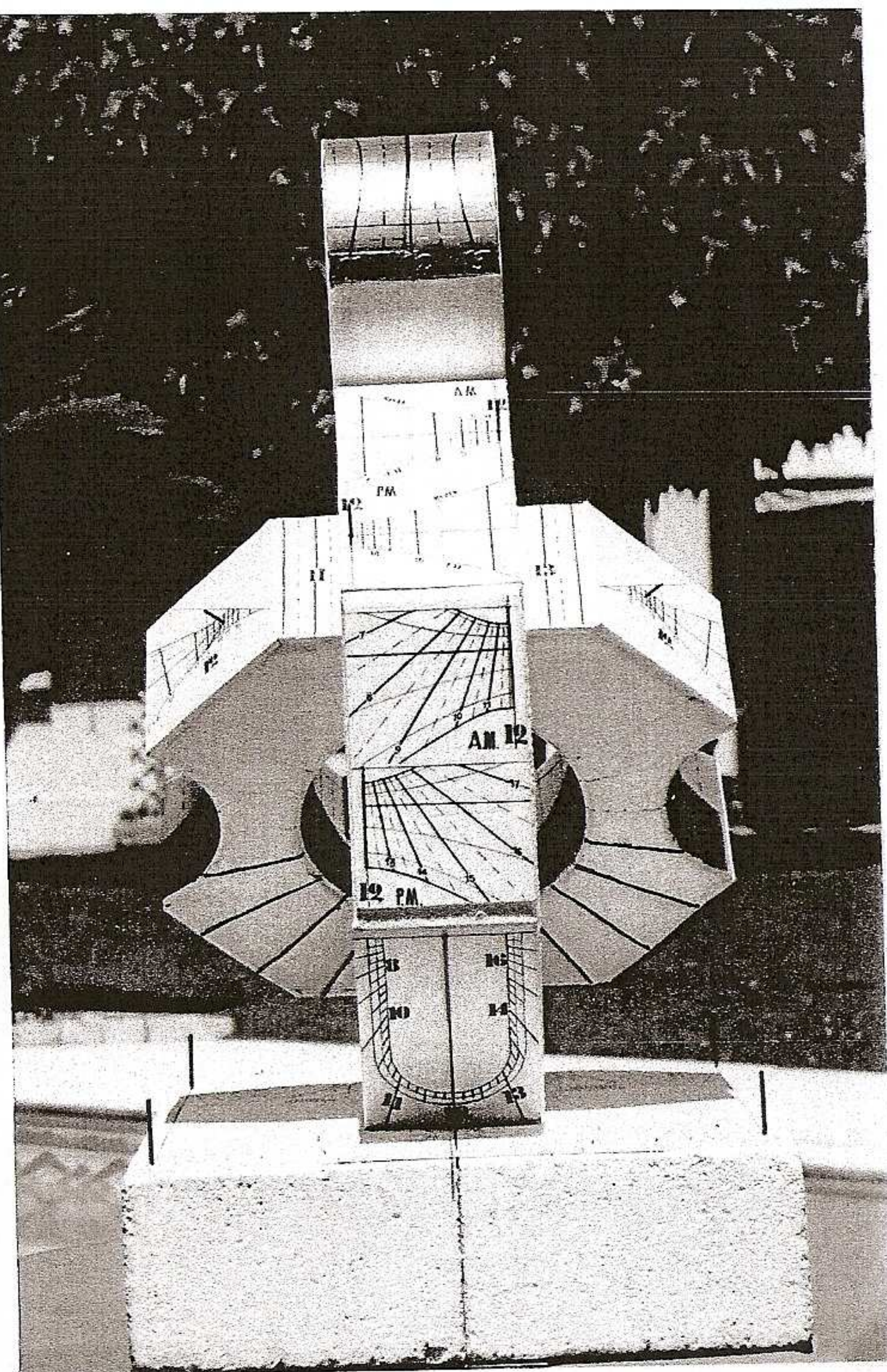
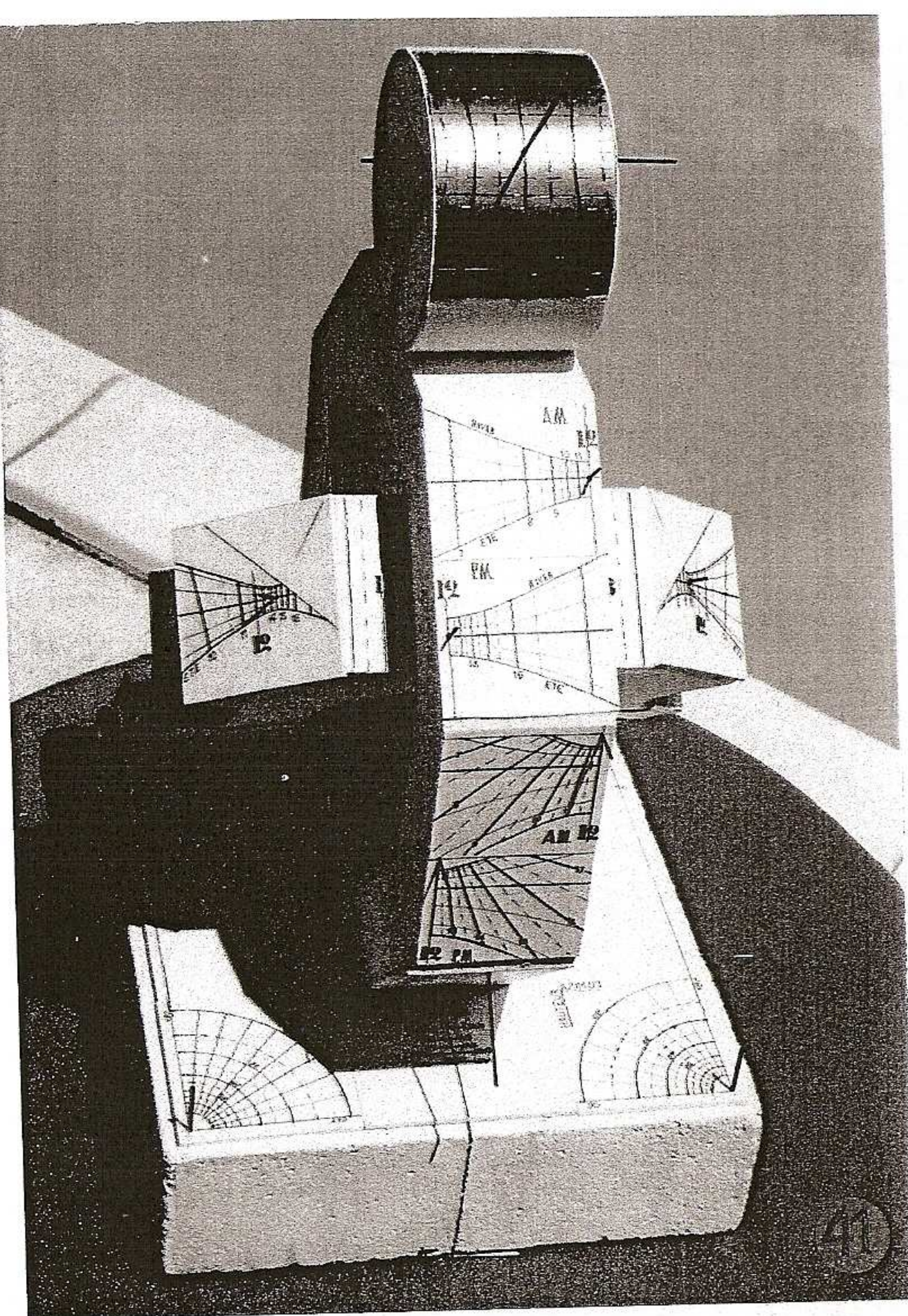


HEXAEDRE HELIOHORAIRE

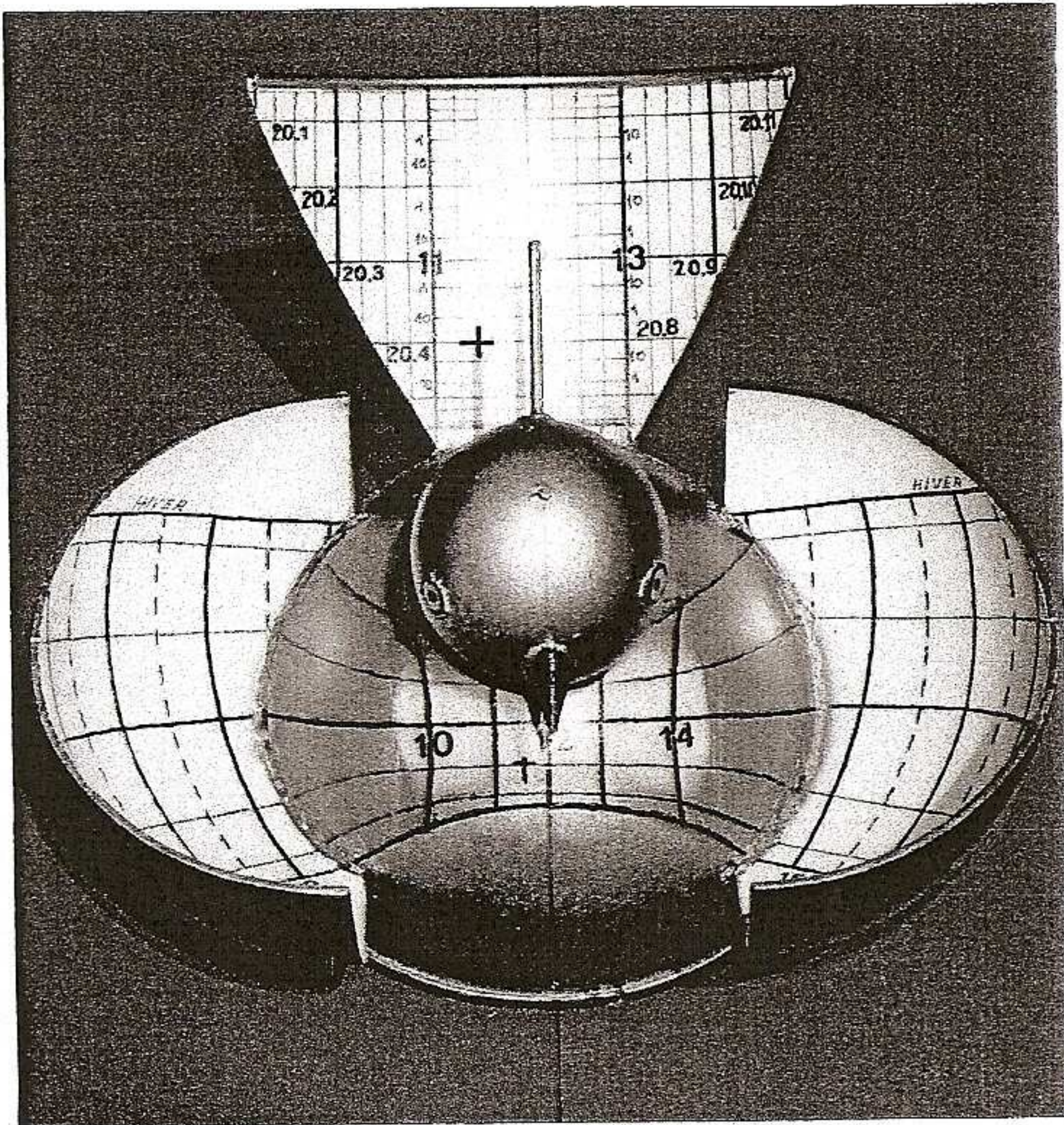
40

2009

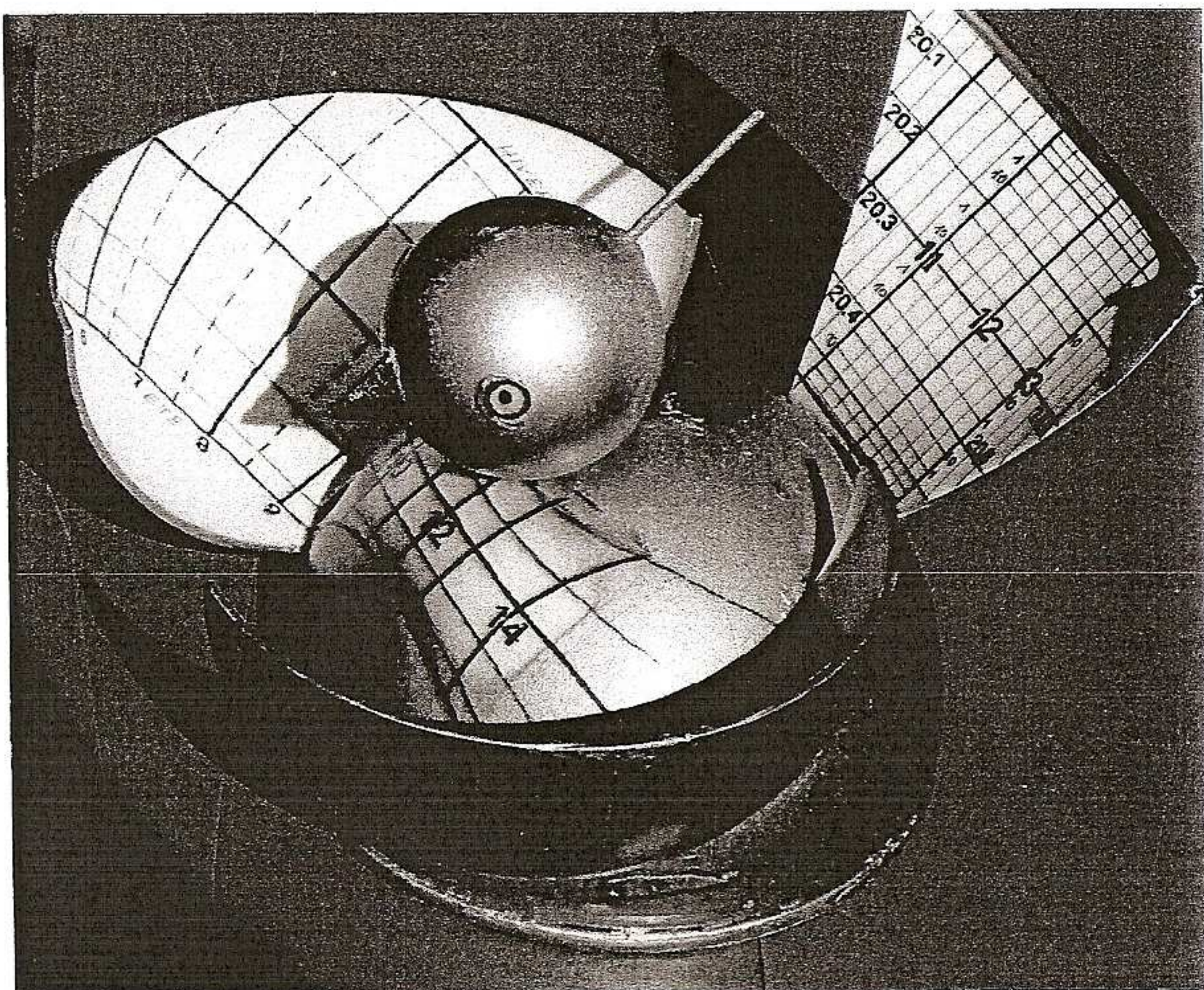


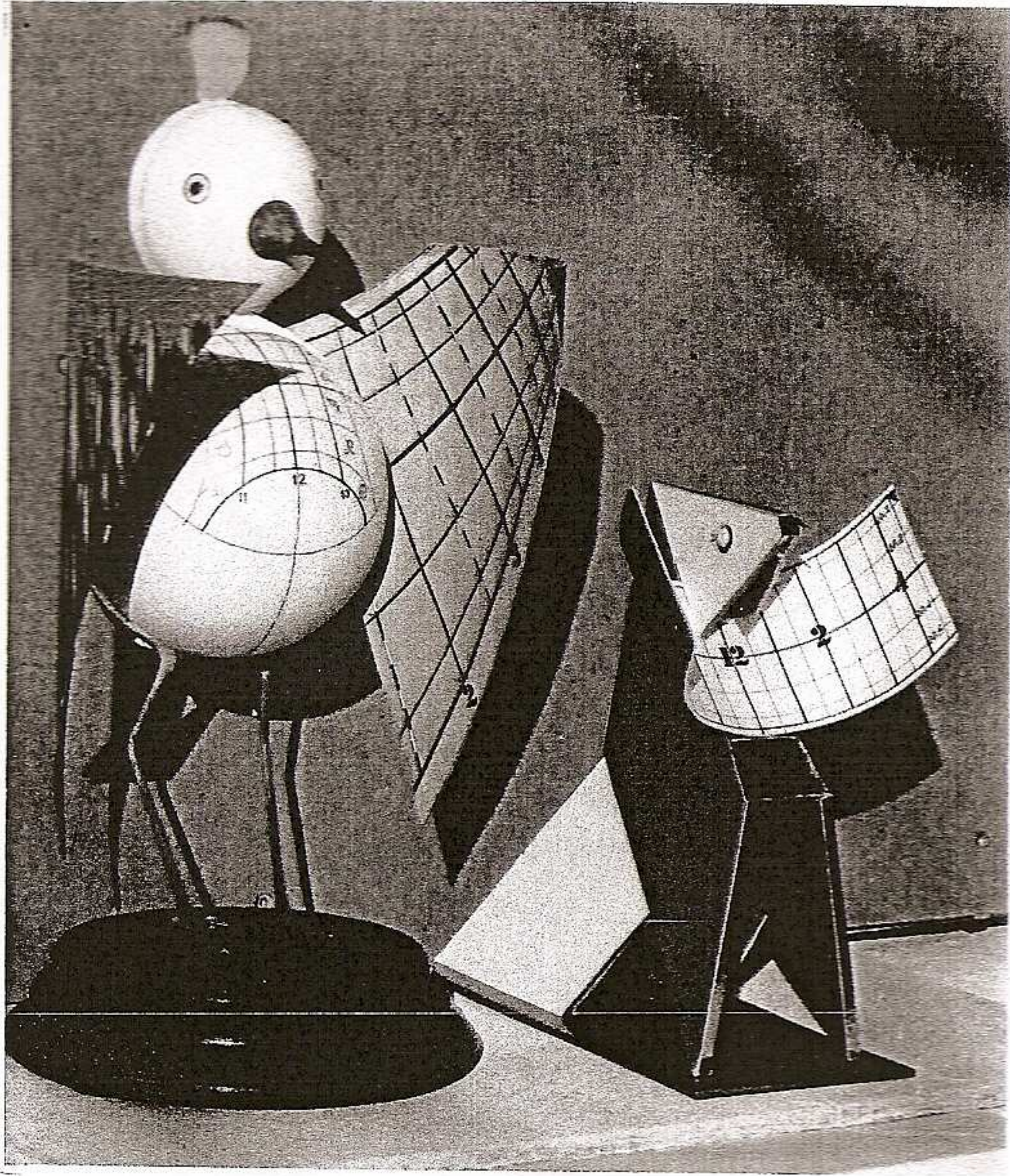


L'OISEAU HELIOHORAIRE



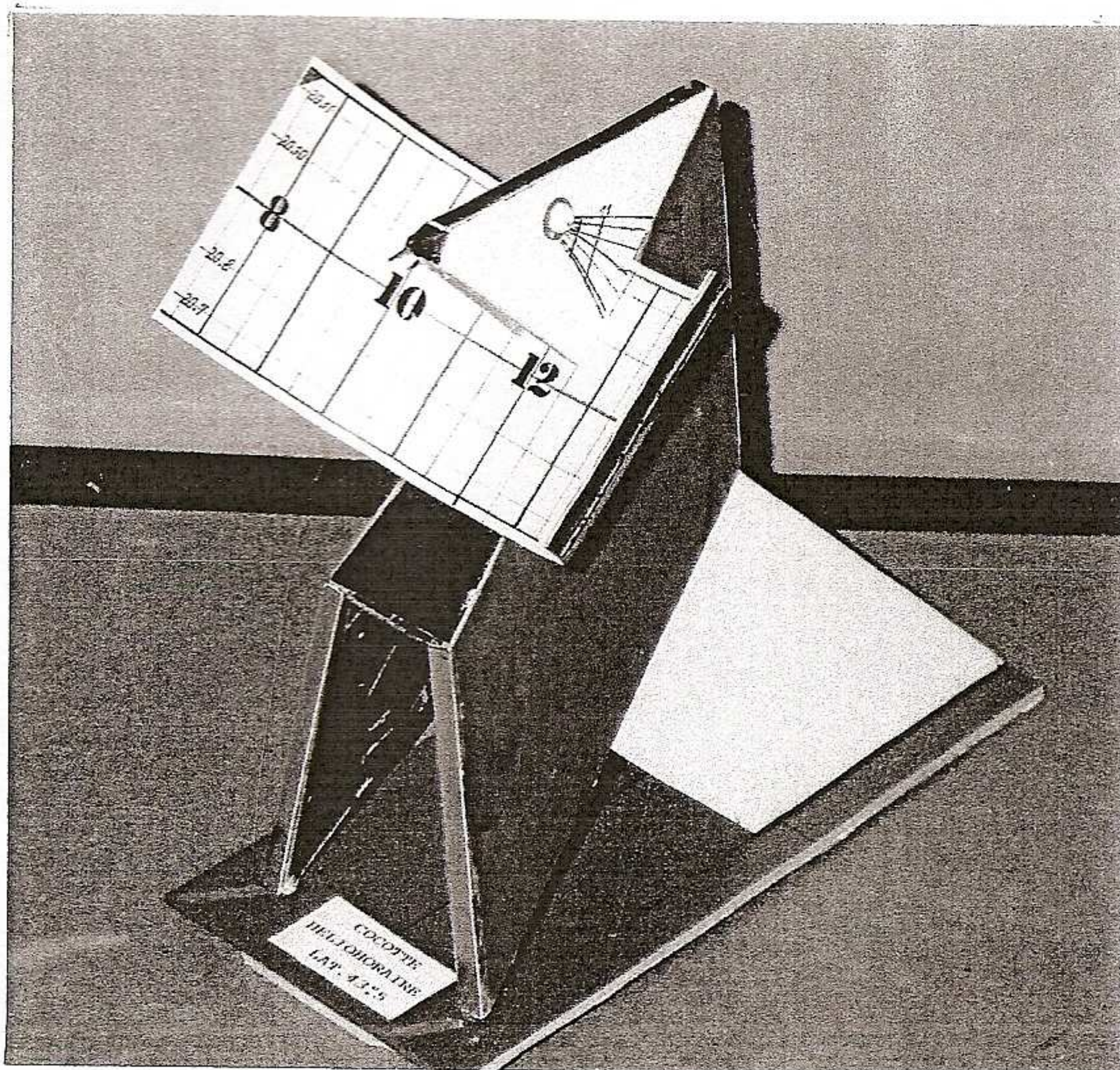
43

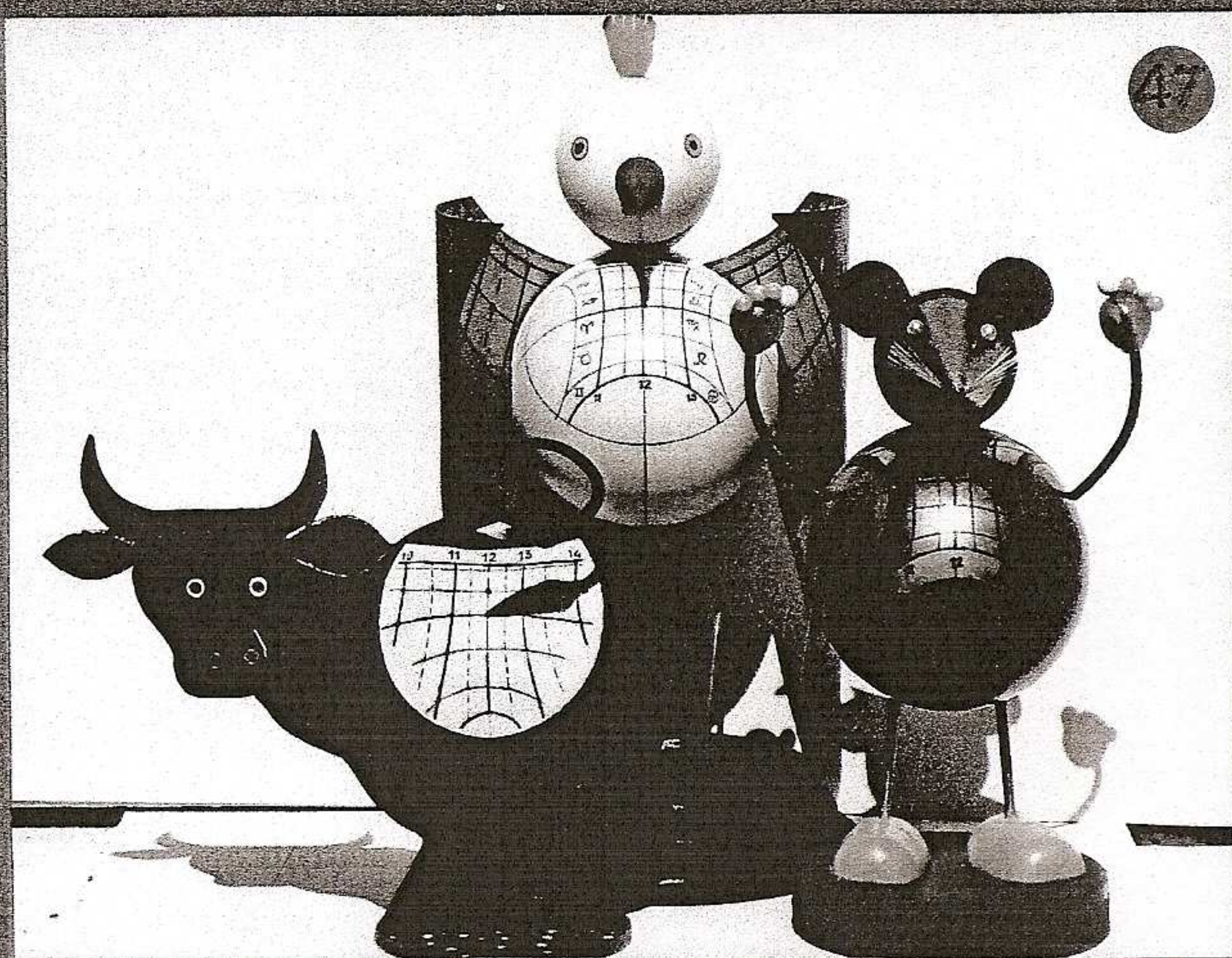
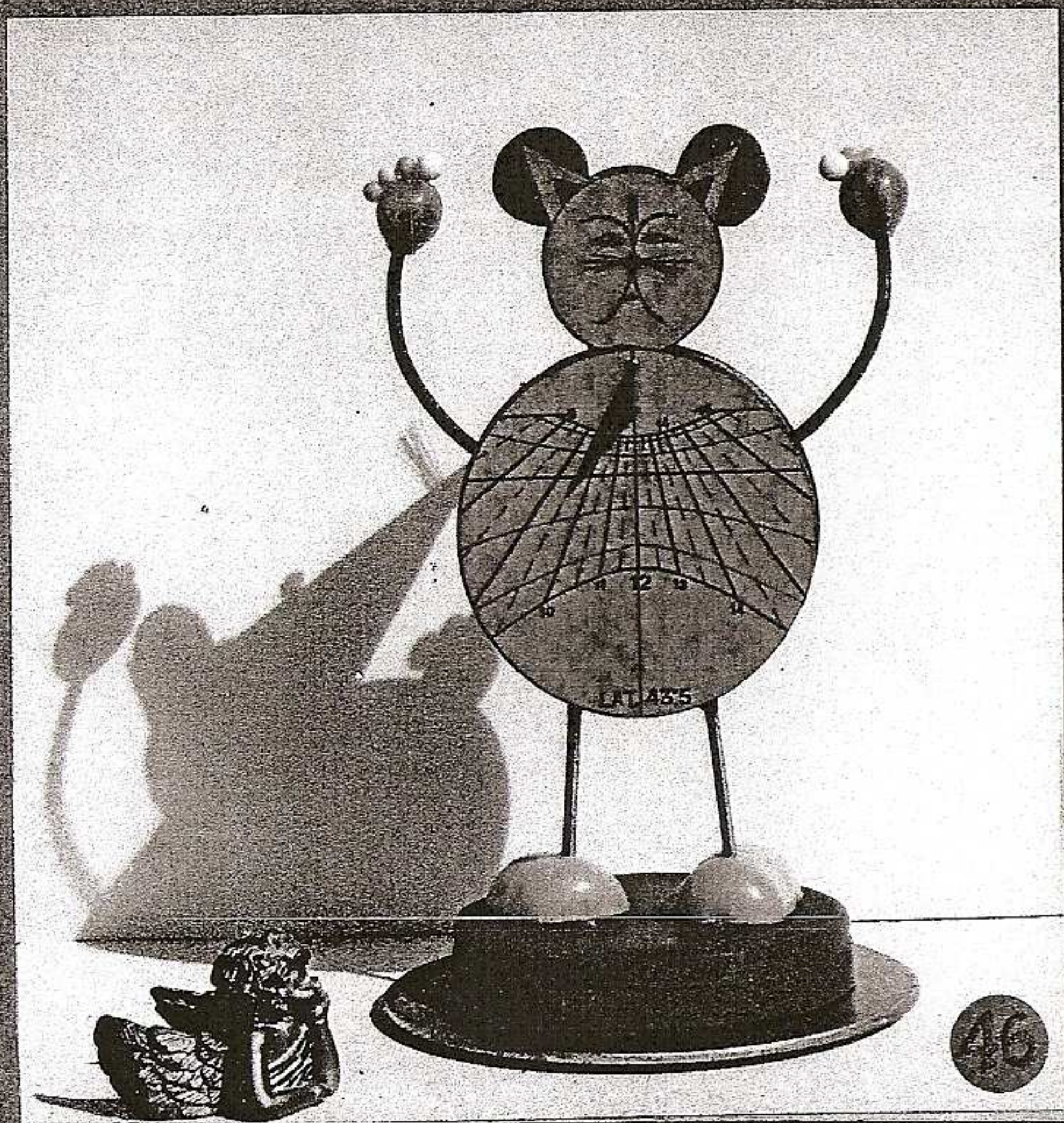




44

CAGOU ET COCOTTE





INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LES INSTRUMENTS HELIOHORAIRE

Nous savons qu'ils sont nombreux et divers de forme , de matière et d'utilisation . Les plus courants sont plaqués sur des façades méridionales ou déclinantes vers l'est ou l'ouest , ou bien posés horizontalement sur un socle à hauteur d'homme . Il en existe une multitude d'autres : équatoriaux , analemmatiques ou de hauteur ; sphériques , polyédriques , à colonne ; en pierre , en métal , en ivoire ou en bois ; fixes , mobiles , universels ou pas ; monumentaux ou de poche ; auto-orientables , auto-nivellables ou pas , etc...

Presque tous nécessitent un "marqueur" qui transmettra la course du soleil sur une surface quelconque , lequel peut être une tige ou un oeillet qui sera associé à des inscriptions précalculées . Au delà de la fabrication de ces instruments , il y a les ombres qui nous entourent comme celles d'un pan de mur , d'un pylone , d'une vasque etc.. qui peuvent être temporellement interprétées . On peut aussi connaître l'heure solaire en interceptant directement ses rayons avec ou sans pendule (triens , canon) . La méridienne ou cadran de midi peut , en plus , donner la date à ± 2 jours .

L'heure solaire est différente de celle de la montre . Pourquoi ?

Comment connaître l'heure de la montre à partir de l'heure solaire ?

La montre donne l'heure légale d'un pays .Mais qu'est-ce que l'heure légale ?

Jusqu'au début des années 1900 , à partir de l'heure solaire , chaque pays ou province établissait une heure officielle à sa convenance , d'où des difficultés dans les relations entre Etats , mais aussi à l'intérieur des Etats . C'est en 1884 au Congrès de Washington que le globe fut divisé en 24 fuseaux numérotés de 0 à 23 avec le méridien de Greenwich au centre du fuseau zéro . Chaque tranche représente 15° de longitude à l'intérieur de laquelle , la journée commençant à minuit , l'heure légale doit être utilisée (avec des ajustements pour les frontières) . La France est dans le fuseau n°1 , donc son heure légale (ou civile) est l'heure de Greenwich + 1h (actuellement en été toute l'Europe a adopté 1 heure supplémentaire à l'heure civile) .

Dans sa révolution autour de la terre , le soleil passe à la verticale de Strasbourg 49 minutes avant son passage au-dessus de Brest . Lorsque le cadran de Strasbourg indique 12 heures , celui de Greenwich donne 11h29 et celui de Brest marque 11h11 . Dans les 2 villes françaises pour connaître l'heure de la montre (heure légale française) , il faut déterminer l'heure solaire de Greenwich à l'instant de la lecture des cadrans par différence horaire des longitudes et appliquer ensuite la correction du fuseau n°1 .

Strasbourg : 12h - 31 mn + 1 h = 12h29 heure légale française

Brest : 11h11 + 18 mn + 1 h = 12h29 heure légale française

Pour connaître l'heure légale précise , du fait que le soleil ne se déplace pas à une vitesse constante toute l'année (il passe au méridien du lieu avec une avance ou un retard sur le midi de la montre pouvant atteindre 16 minutes) , il faut appliquer la correction d'équation temps donnée par les éphémérides .

En résumé , pour passer de l'heure solaire locale à l'heure légale il faut appliquer la formule :

$$\text{heure légale (ou civile)} = \text{H.S.L.} + \Delta M + F + \text{Eq}$$

H.S.L. = heure solaire locale

$+\Delta M$ = différence de longitude entre le lieu et Greenwich en temps
(1° = 4 mn)

F = correction de fuseau en heures

$+\text{Eq}$ = correction d'équation temps en minutes

CORRECTION D'EQUATION TEMPS SUR LECTURE CADRAN

	JAN	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC	
1	+3	+13	+12	+4	-3	-2	+3	+6	0	-10	-16	-11	1
10	+7	+14	+10	+1	-4	-1	+5	+5	-3	-13	-16	-7	10
20	+11	+14	+8	-1	-3	+1	+6	+3	-6	-15	-14	-3	20

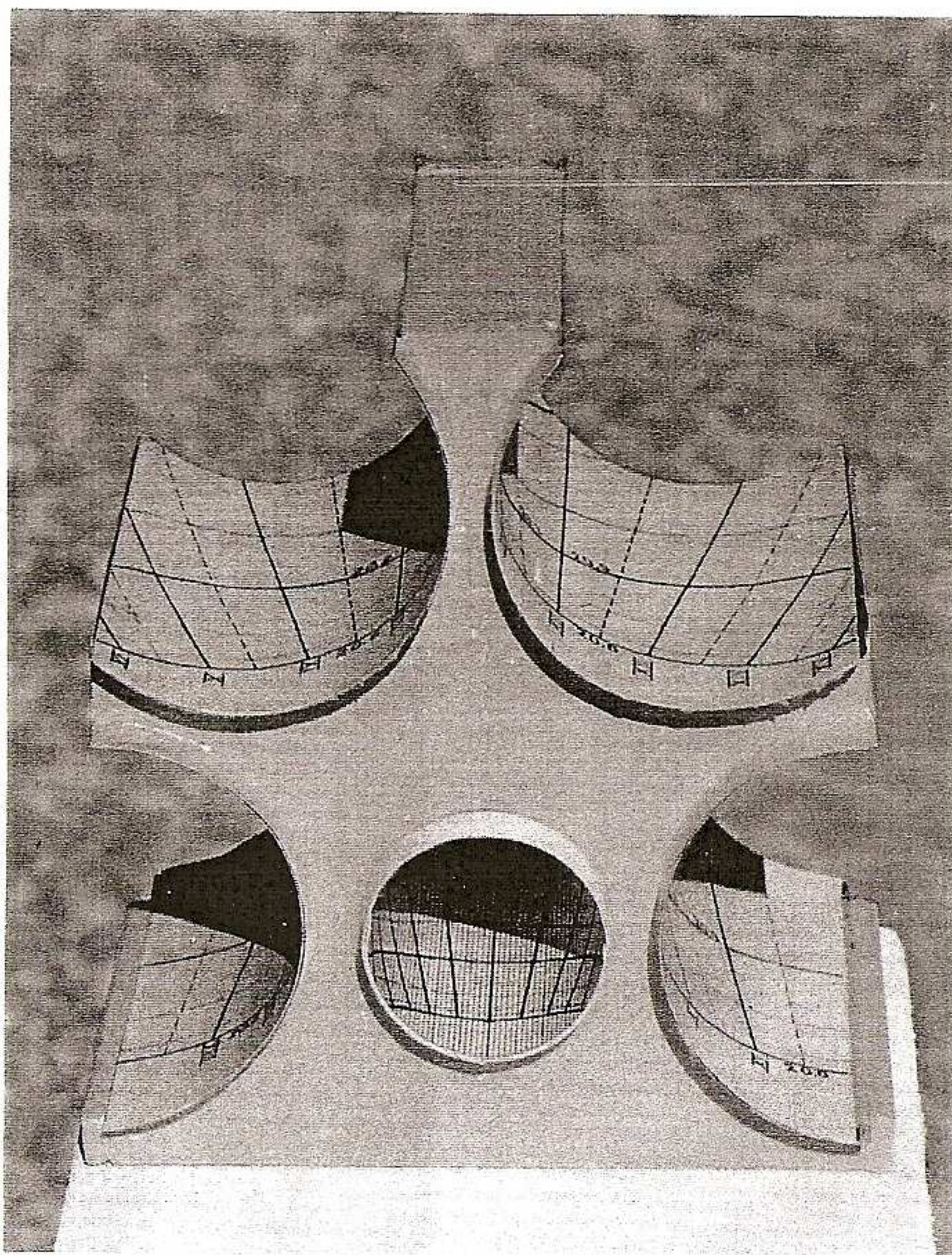
les corrections les plus importantes sont à l'automne et en hiver (en minutes)

QUELQUES LATITUDES ET CORRECTIONS DE LONGITUDES EN MINUTES

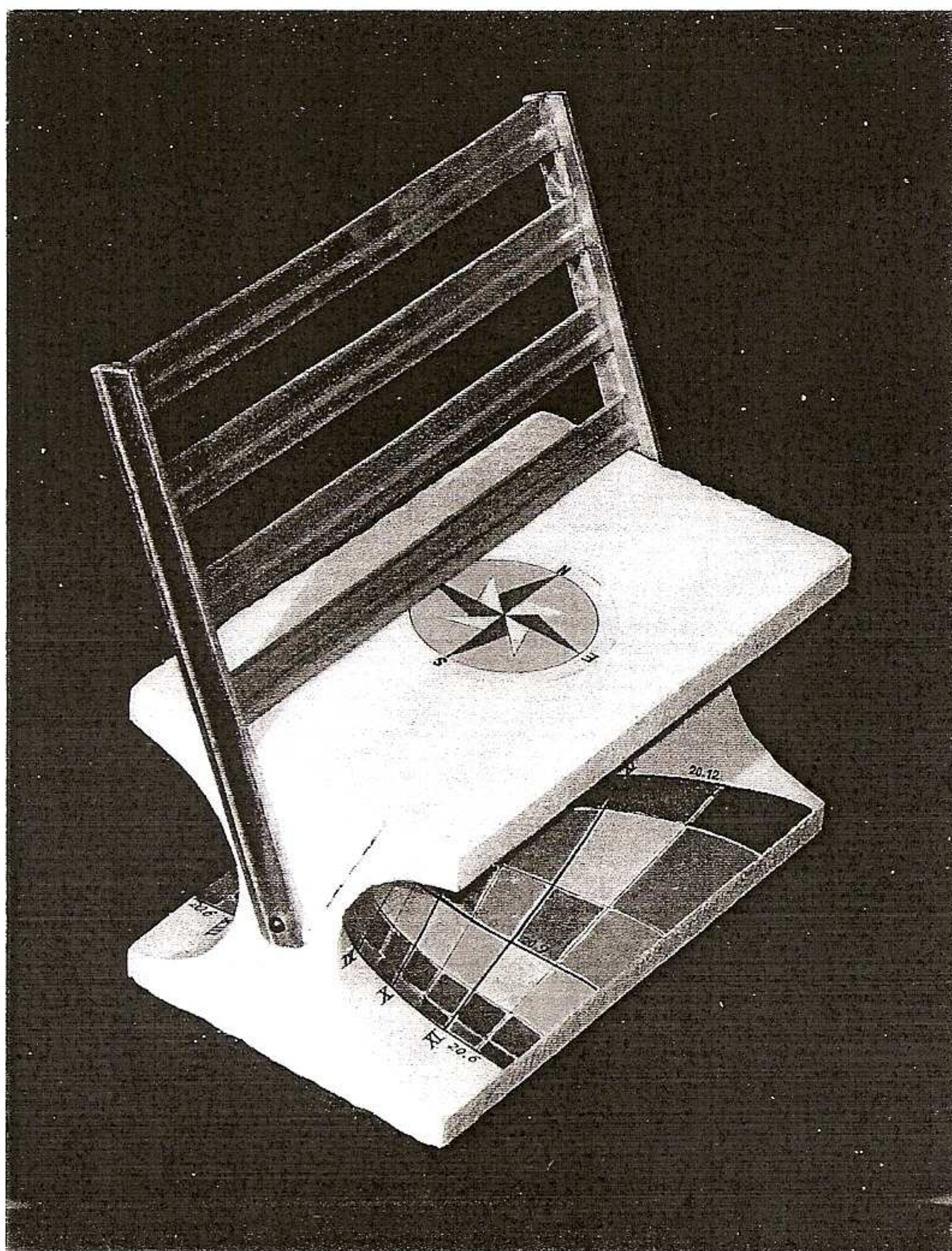
Biarritz	43°5	+ 6	Gap	44°5	- 24	Paris	49°	- 10
Bordeaux	45°	+ 2	Le Mans	48°	- 1	Périgueux	45°	- 3
Bourges	47°	- 10	Lille	50°5	- 12	Perpignan	42°5	- 12
Brest	48°5	+ 18	Lyon	46°	- 19	Poitiers	46°5	- 2
Cherbourg	49°5	+ 6	Marseille	43°5	- 22	Rennes	48°	+ 6
Corse	42°	- 36	Monaco	44°	- 30	Strasbourg	48°5	- 31
Dieppe	50°	- 5	Montpellier	43°5	- 16	Tarbes	43°5	0
Dijon	47°5	- 20	Nantes	47°	+ 6	Toulouse	43°5	- 6

Généralement on établit un tableau daté pour les corrections qui additionne l'équation temps et la longitude . Exemple : Paris le 10 février/ long. -10 Eq +14 = corr.+4mn

35

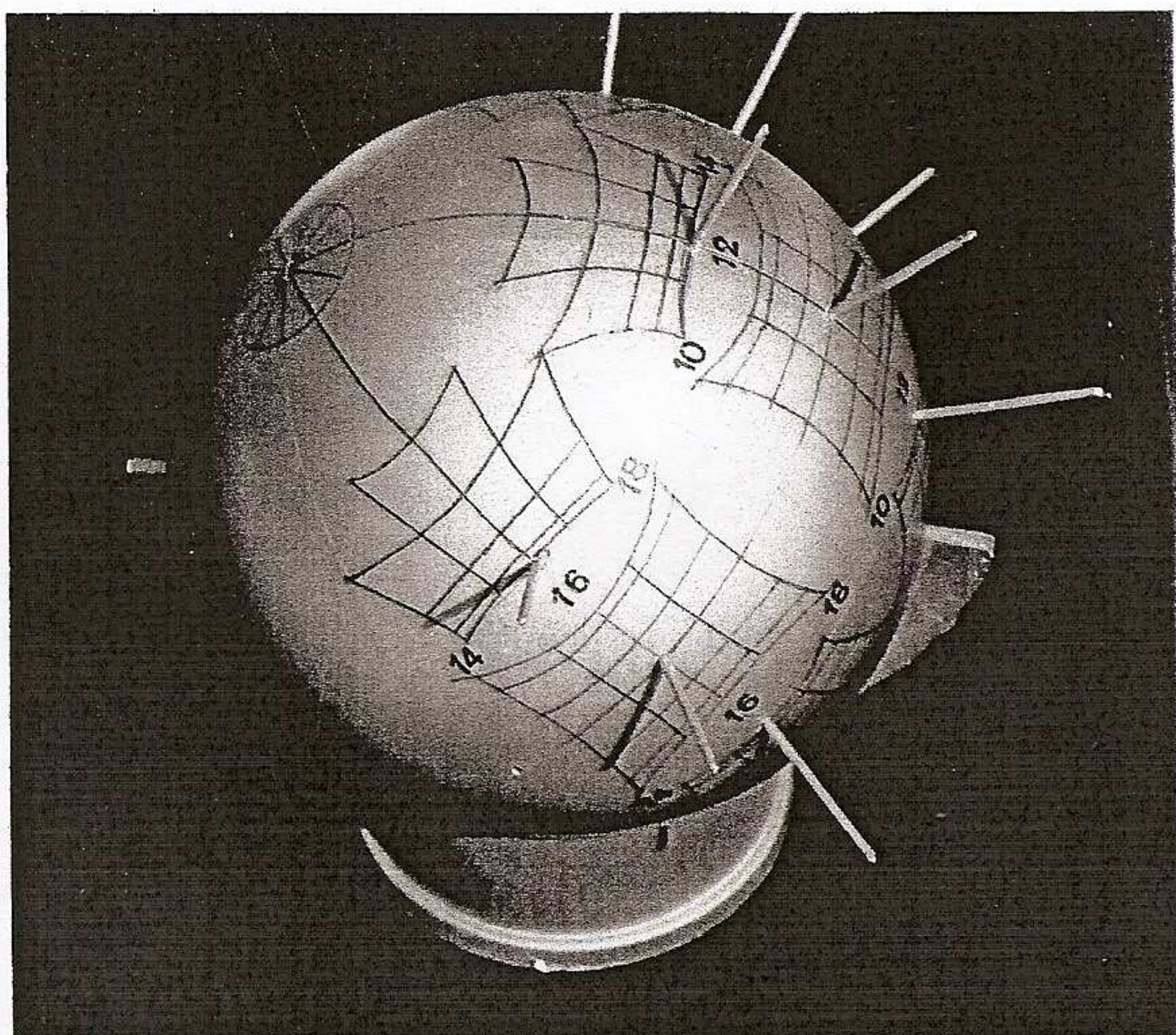
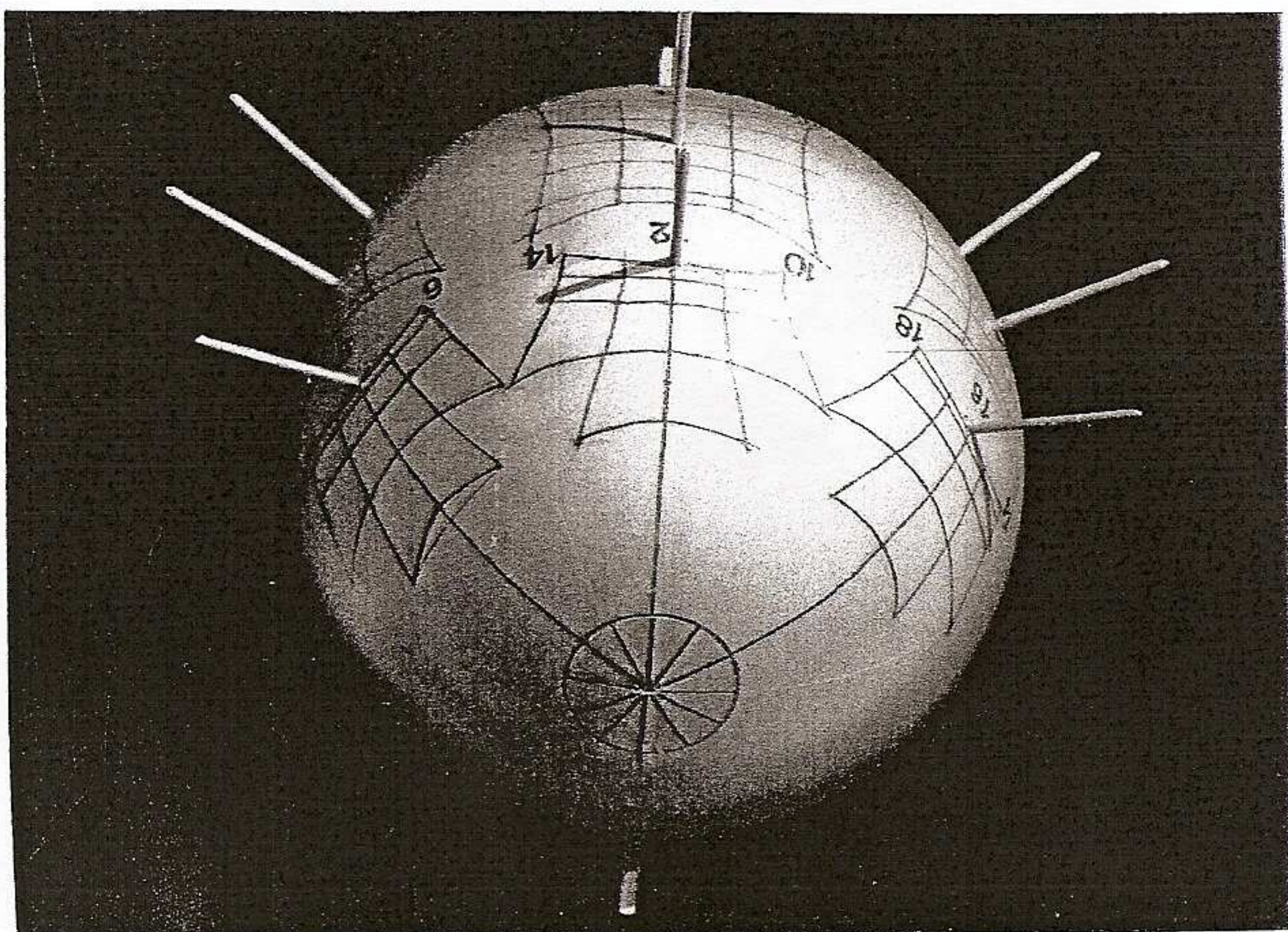


36



LE HERISSON

27





Composition. globe / Antiboreum
polyèdre / cannelure



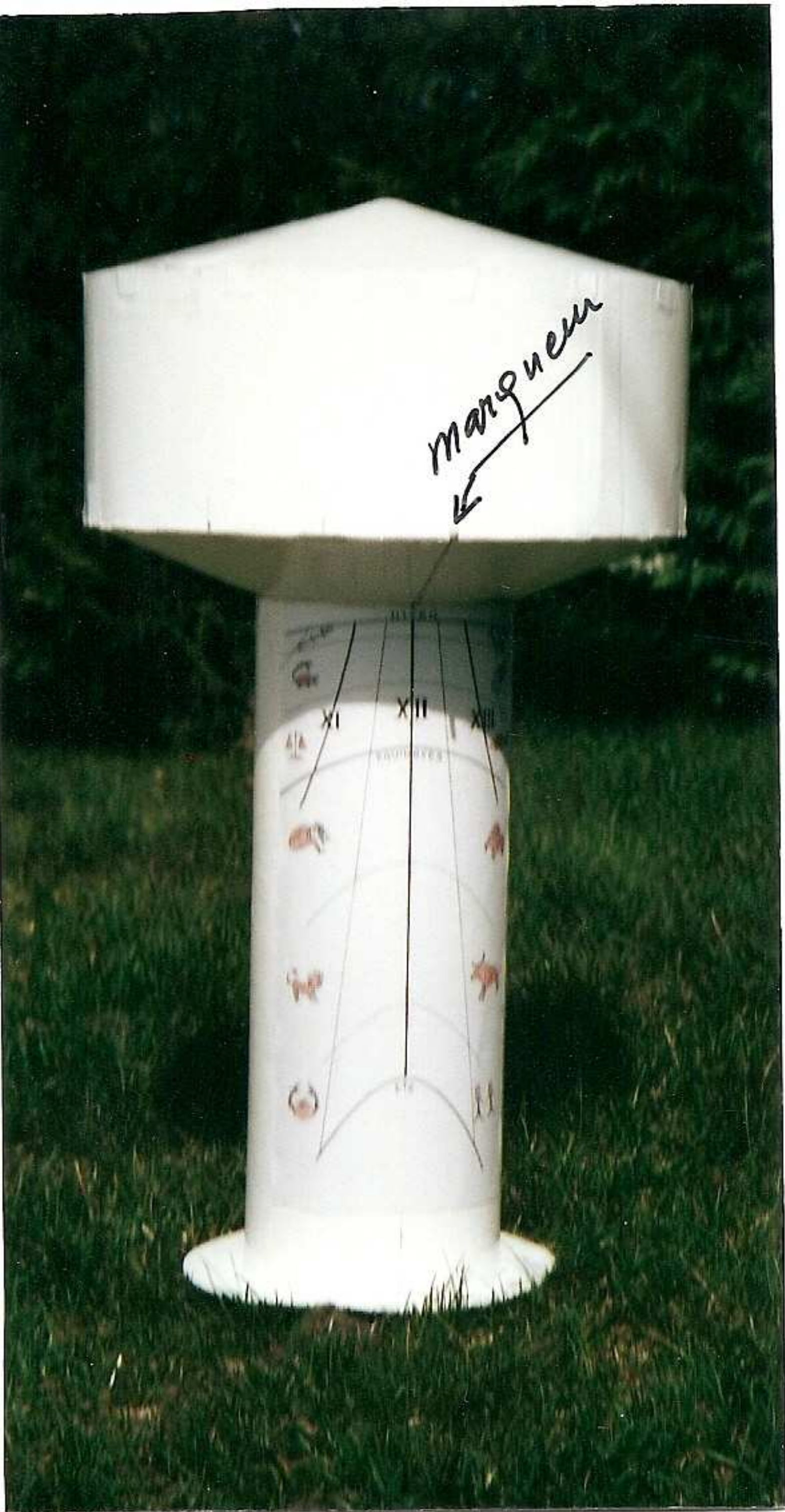
Rapporteur solaire universel
cuivre - gravure eau forte



Mickey aux oreilles coupées

Surface sphérique convexe

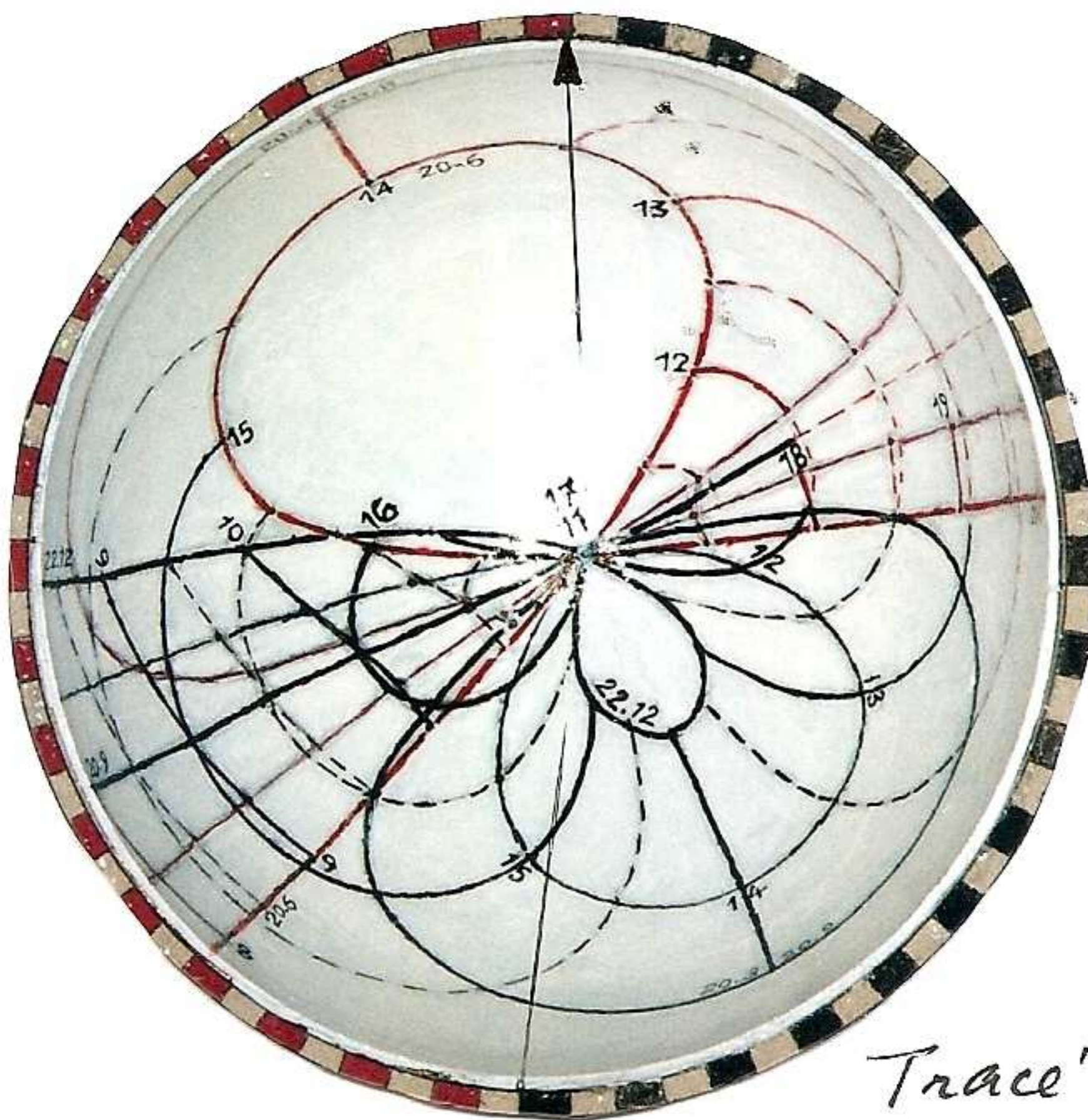




sur château d'eau
Etude sans réfraction



Sém. sphère convexe verticale inclinante
45°W.

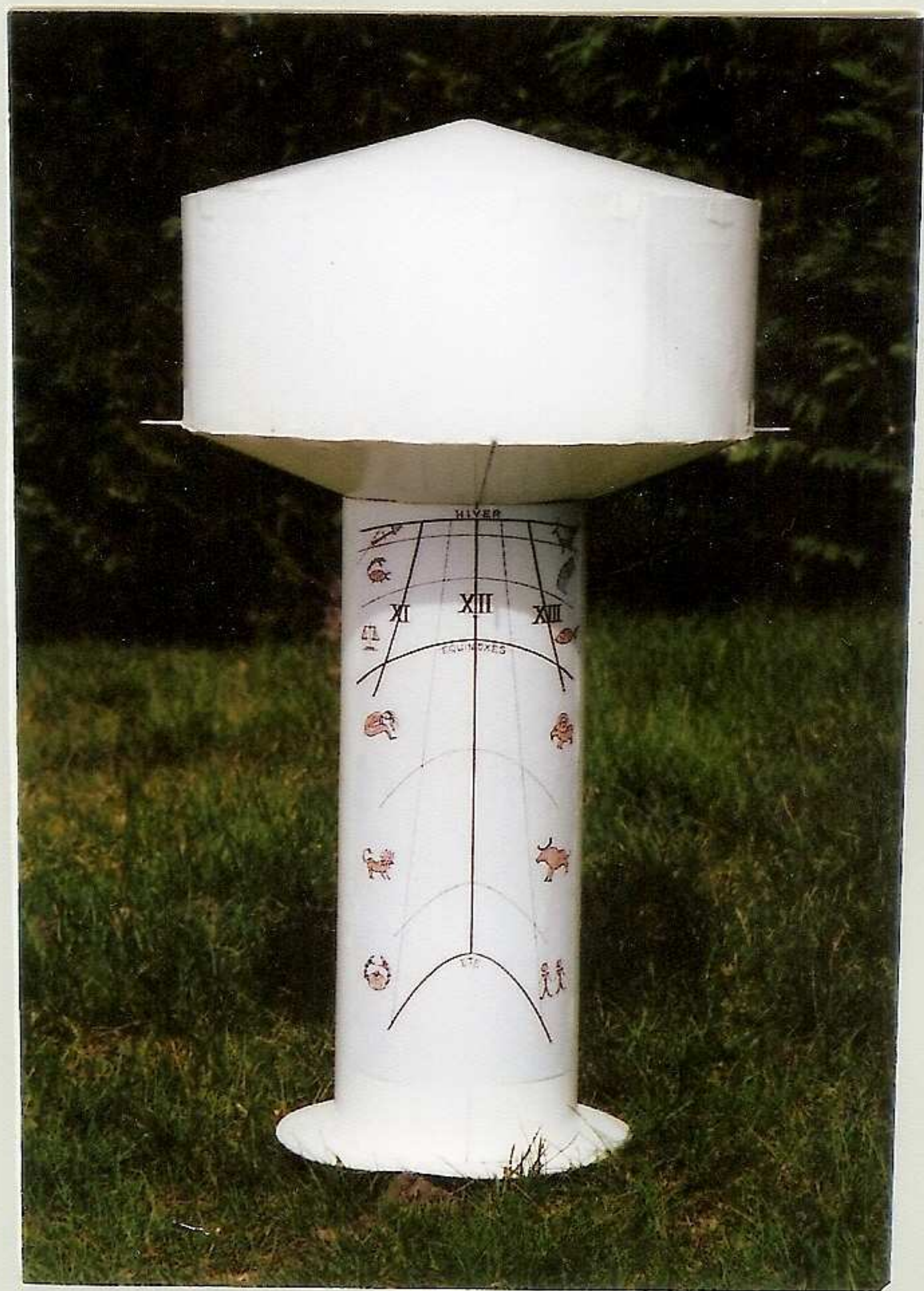


Trace'
Sém. - sphère convexe inclinée
et Déclinée -

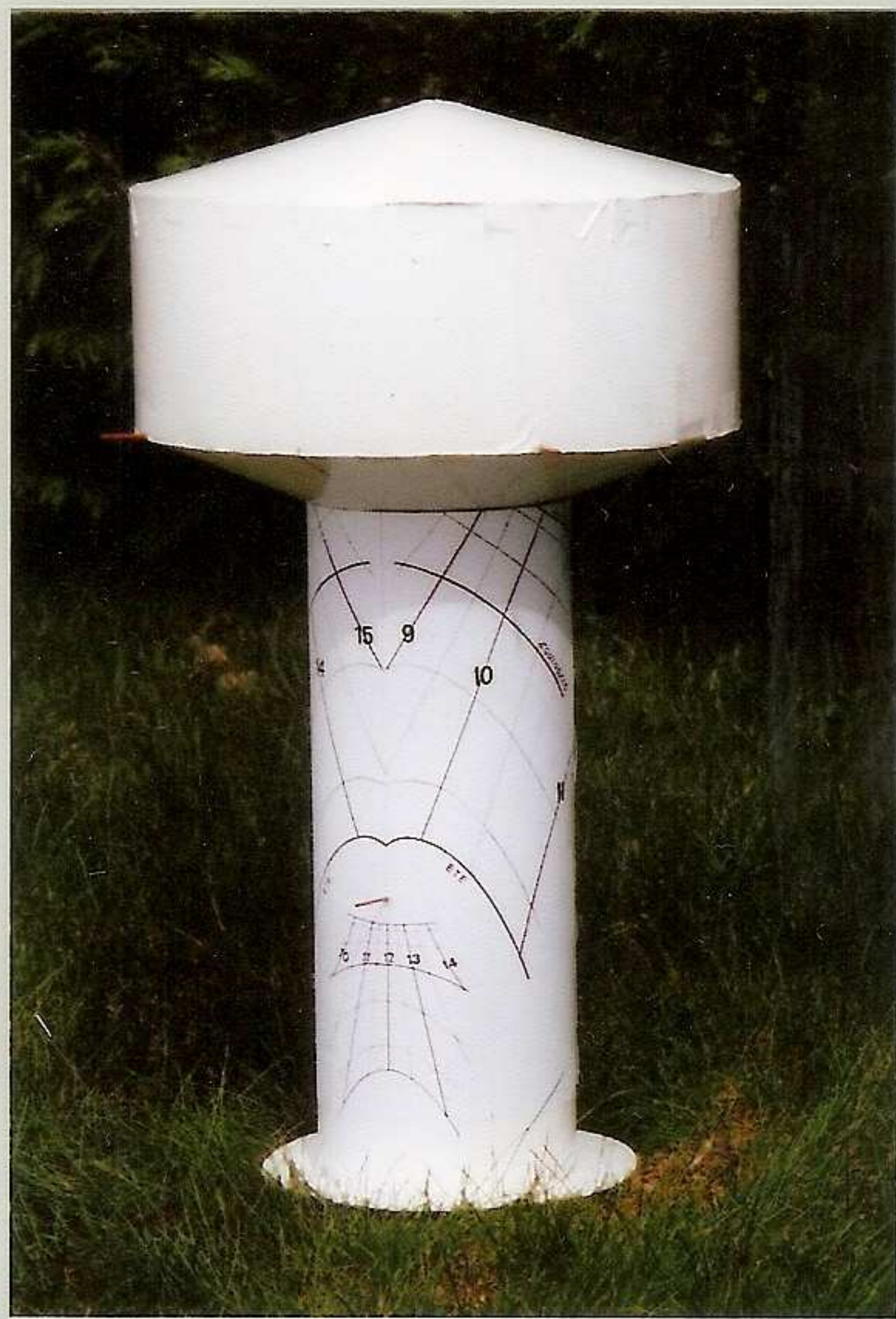


Quelques polyèdres

PROJET POUR CHATEAU D'EAU (1995)



Face sud,
 $L = 43^{\circ}30'$



Tracé double
2 déclinant à 45° (2 marqueurs)
+ 1 méridional

