

Quel avenir pour les sténopés ?
(en photographie)

Vers un projet co-construit avec Lucas Sifoni
Inside/outside

Denis BERNARD 5 mars 2026

Fabrication-contrôle-optique

Trame

I. Une histoire sans histoire

- la « mythographie » de la *camera obscura*.
- Une question d'histoire, sans histoire.

II. La part et la place des photographes

- Les sténopés et l'optique photographique.
- 1984 Vérification technique et historique
- Penser se fabriquer son appareil photo ?

III. L'avenir des sténopés ?

- Voir enregistrer
- Sténopés vs *Zones Plates*, focale zéro
- Projet *Inside/outside*, avec Lucas Sifoni

Qu'est-ce qu'un *sténopé* ?

Un système optique diffractif,

Mais en photo très souvent :

La *camera obscura* ou le principe de la *c.o.*

L'ancêtre des appareils photos

Un procédé alternatif depuis l'ère numérique

Des Sténopés aux Réseaux zonés utilisés en photographie, quelques repères

- **1826-1827** : Niépce, 1^e héliographies
- 1885-1886 : Félix Méheux, 1^e photographies **sans objectif** connues
- 1889 : Georges Davison, *The Onion Field*, prix et controverse Angleterre *pinhole photography*
- **1892** : Le mot et la chose **sténopé** désigné par René Colson. Un système optique commercialisé.
- En France à partir de cette date sténopé = système optique technique ou « **en cas** »
- En Angleterre, **pinholes** : recherches esthétiques. Aux Usa, médecine, sciences, arts photo, etc.
- **1907** : Léon Rouyer, photographies **sans objectif**, hypothèse d'une image volumique.
- 1914-1970 Omni présence dans la littérature technique photographique, usages savants et militaires.
- 1984-1985 : *Pinhole Resource / Pinhole Journal* photographique jusqu'à 2006
- **1985** : 1^e applications de **Zones Plates** dans le *Pinhole Journal*, réseaux zonés en France.



Cliché obtenu sans aucun objectif, par M. Méheux.

1825



George Davison

The Onion Field- 1890, 1907

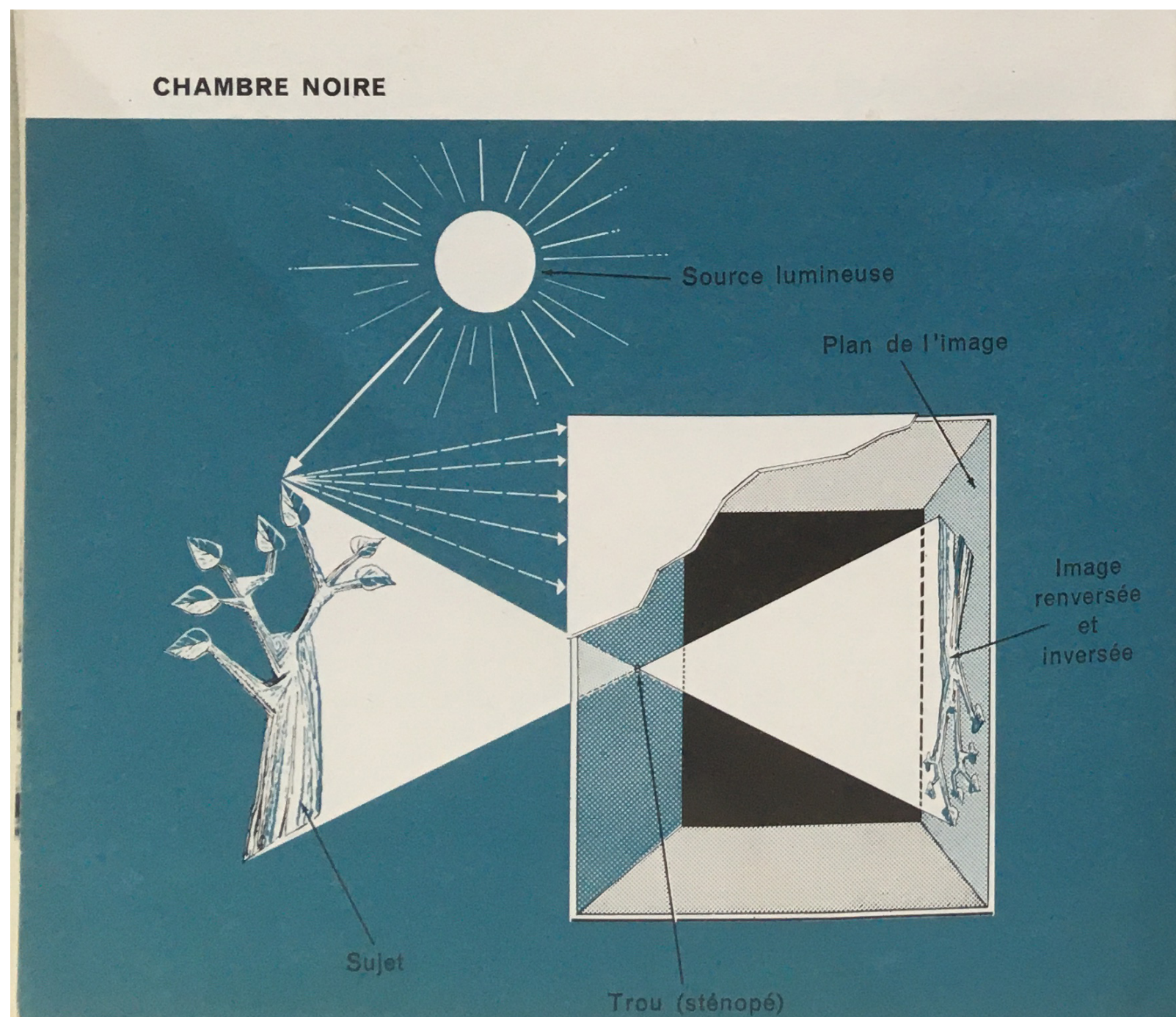
Photogravure

15.5 x 20.6 cm

Partie I

Une histoire sans histoire





sur V' , les deux images $abcd$, $a'b'c'd'$ coïncideront exactement. On doit donc aussi considérer l'image $abcd$ fournie par la chambre noire comme une perspective de l'objet représenté, dont O est le point de vue, P le point principal.

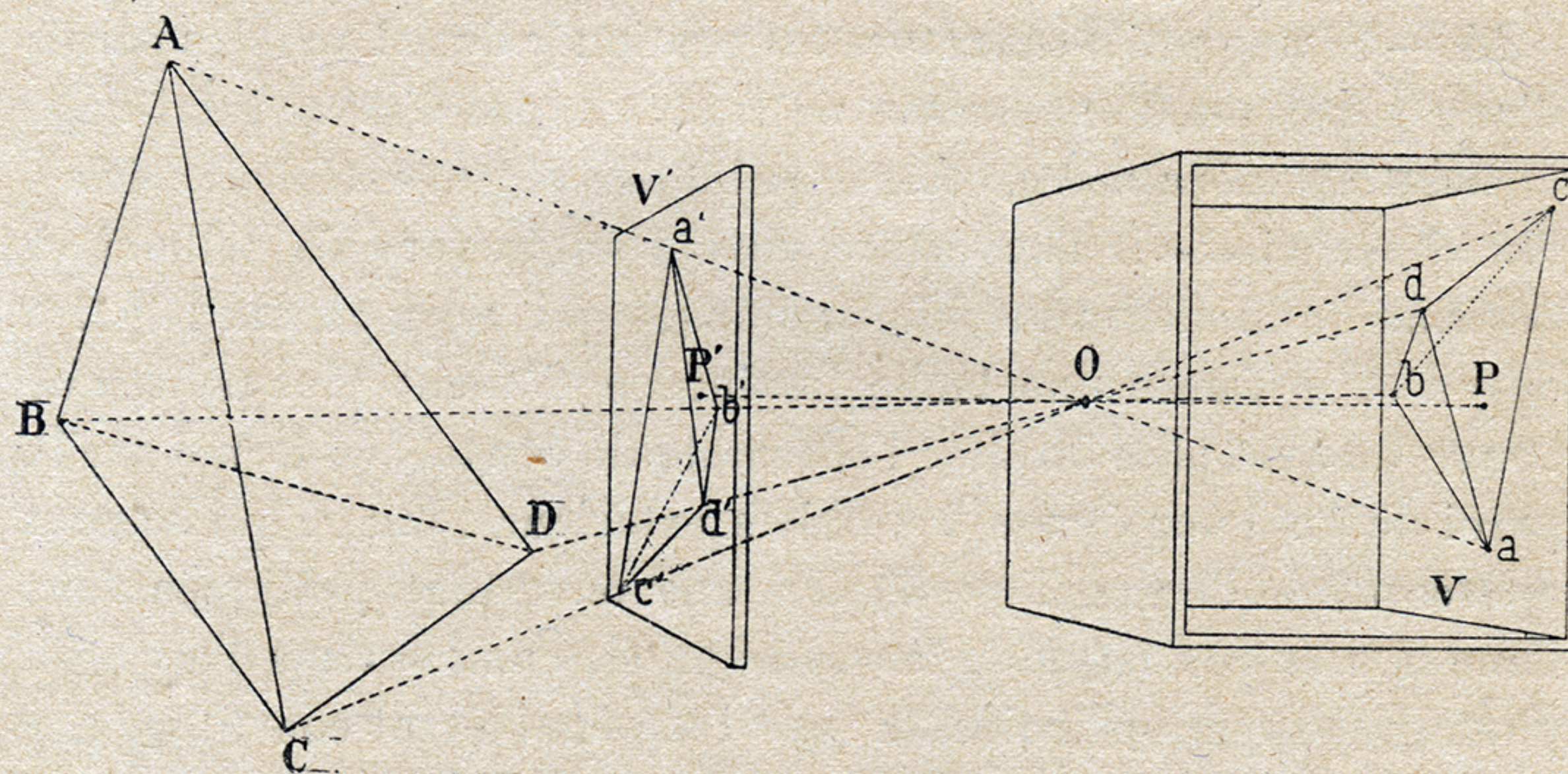


FIG. 11. — La chambre noire.

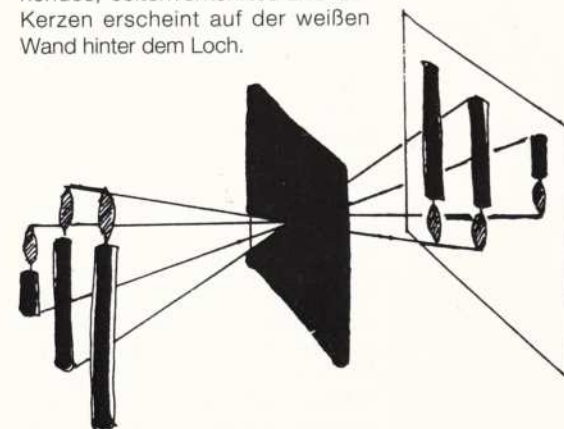
Si l'on veut jouir de toute liberté dans la composition de cette image, on voit que l'on devra pouvoir faire varier la distance principale et déplacer à volonté le point principal dans le tableau; ces

VON DER CAMERA OBSCURA ZUM FILM

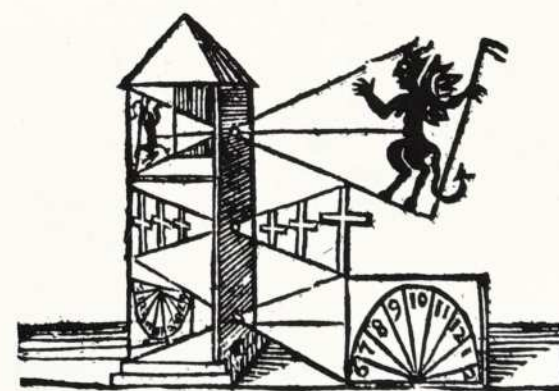
Zur Vorgeschichte der Kinematographie

Was ist eine Camera Obscura? Der Begriff 'Camera Obscura' heißt wörtlich übersetzt nichts anderes als 'Dunkle Kammer' oder 'Dunkler Raum'. Die Beobachtung des Lichts in der dunklen Kammer führte im Laufe der Jahrhunderte zur Entwicklung der Kamera für Foto-, Film- und Fernsehaufnahmen. Ursprünglich war die Camera Obscura tatsächlich nichts weiter als ein dunkler Raum, in den durch ein kleines Loch das Bild der Außenwelt eindringt. Das Abbild erscheint auf der dem Loch gegenüberliegenden Wandseite auf dem Kopf stehend und seitenverkehrt. Dieses optische Phänomen ist bereits im vierten Jahrhundert v. Chr. der Mathematikerschule der Mohisten in China bekannt.

In Griechenland beobachtet Aristoteles (384-322 v. Chr.), wie sich bei einer Sonnenfinsternis die halbverdeckte Sonne, durch das Laubwerk einer Platane dringend, seitenverkehrt auf dem Erdboden abbildet - das Camera-obscura-Prinzip als Naturphänomen. Die Baumkrone erfüllt die Funktion des dunklen Raumes. Aristoteles entdeckt darüber hinaus, daß bei kleinen Löchern die Erscheinung deutlicher ist als bei größeren.



Sonnenbilder bei teilweisem Sonnenfinsternis.



Roger Bacon beschreibt im 13. Jahrhundert, wie die Dinge dort erscheinen, wo früher nichts vorhanden war, nämlich auf der dem Loch gegenüberliegenden Fläche.

4

CHAPTER 1

Pinhole's History in the Exploration of Science and Ideology

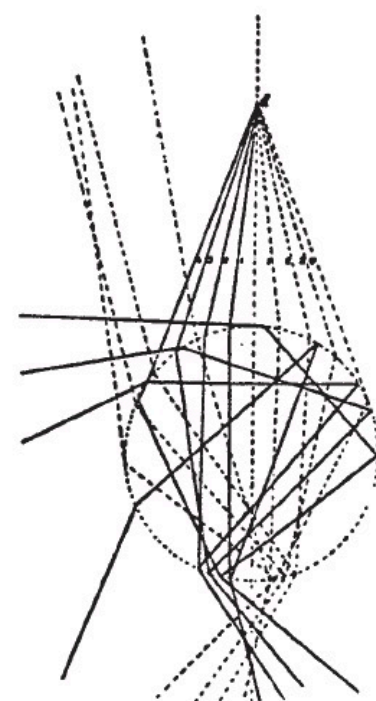


FIGURE 1.12A
Kamal al-Din al-Farisi, ray diagram. Sunlight refracted into a water-filled glass globe, which acts like a raindrop and is internally reflected back to the eye of the viewer. From *Tanqih al-Manazir*, 1310.

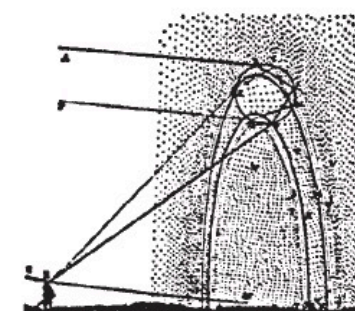


FIGURE 1.12B
René Descartes, ray diagram, showing formation of the rainbow. From *Les Meteores*, 1637.

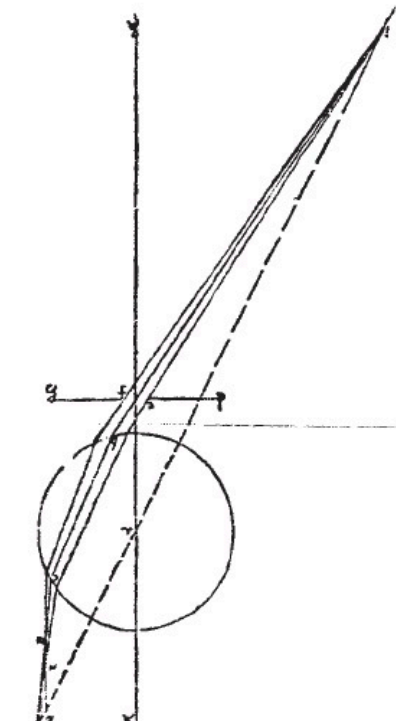


FIGURE 1.12C
Johannes Kepler, ray diagram, showing light from the pinhole point source entering a glass globe filled with water. From *Ad Vitellionem Paralipomena*, 1604.

11

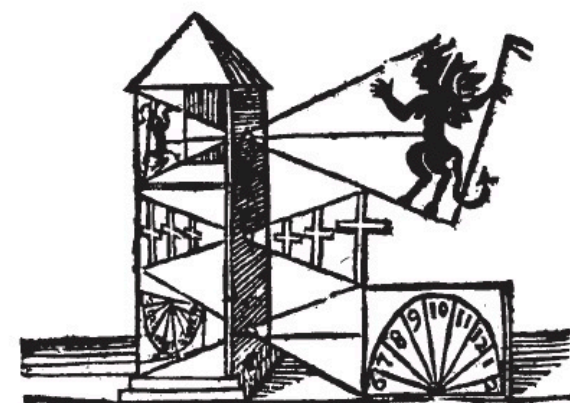


FIGURE 1.13
Roger Bacon, drawing, three-tiered pinhole camera obscura, circa 1300, from *Van Der Camera Obscura zum film*, Werner Nekes, 1992.

THE CAMERA OBSCURA AND HUMAN UNDERSTANDING

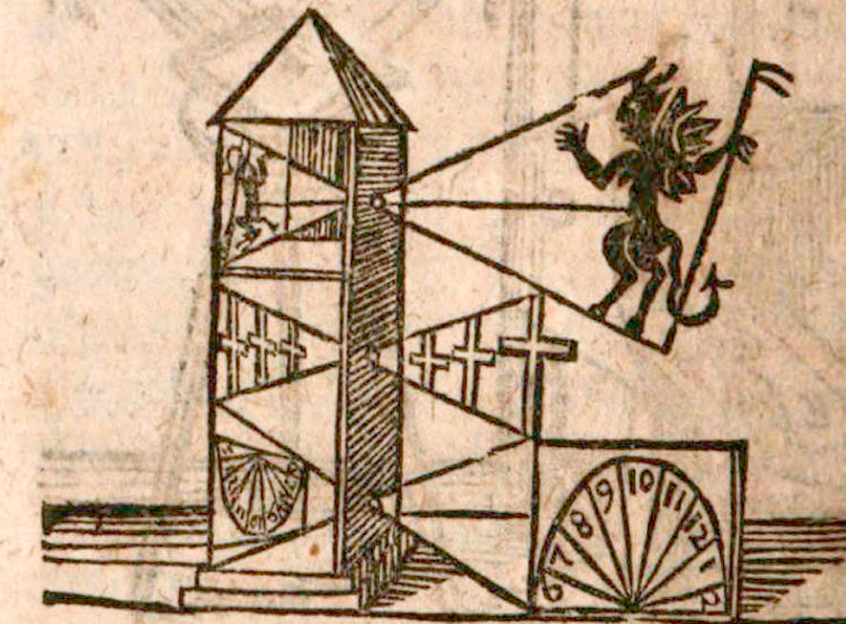
Certain optical scientists who studied pinhole images were also intrigued by the *camera obscura* (the room itself) where upside down images could be seen projected onto the walls, floor, and ceiling of a completely darkened room. As an archetype, the *camera obscura* is similar to Leonardo's and Plato's darkened cave. Medieval attitudes promoting devil-fear propaganda influenced the scientist-monk Roger Bacon (1219-1292) in his drawing (Figure 1.13) of a three-tiered pinhole *camera obscura* that demonstrated an integration of religious

260

[o]

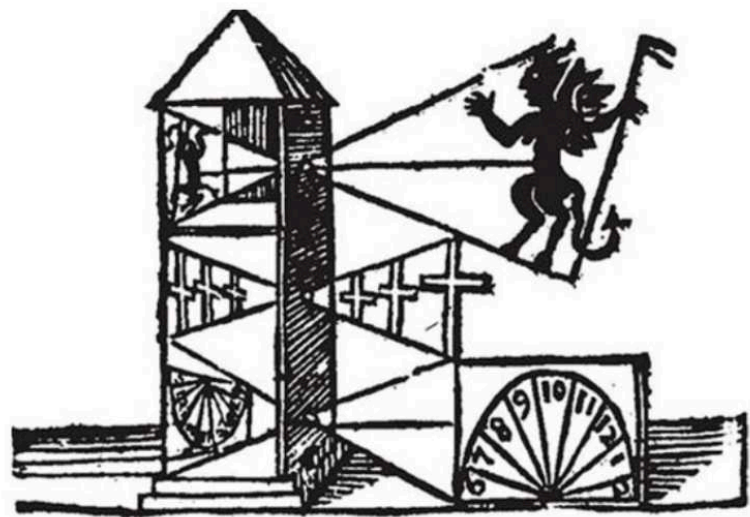
daß das Glas in der Röhre D mit dem foco, oder mit derjenigen Länge des Scheins, den es machet, just auf das Papier E trifft, auf welches das Bild soll gezeichnet werden. F ist ein Plan-Spiegel auf einem Drehestuhl, damit man ihn herum drehen kan nach Veränderung der Sonnen, der fänget die Sonnen-Strahlen auf und wirfft sie auf das Gemählde B. Welches sich denn hernach unten auf dem Papier aufs schönste präsentiret.

Fig. 2.



Hernach ist noch zu observiren daß es bey einer Camera obscura sehr künstlich u. curiosus läset wenn man von einer Treppen, aus einem Stock Werck ins andere gehet, und an ieder Wand eine besondere Repräsentation findet, welche nicht anders aussiehet, als ob man bezaubert wäre. Gegenwärtige 2te Figur stellet einen Thurm vor in welchen ein Teuffel erscheinet sammt andern beliebigen Figuren, wie ihn Kästchen

CAMERA OBSCURA TIMELINE 1.7: 13TH CENTURY EUROPE



Alhazen's *Kitab al-Manazir* was translated into Latin probably in the late twelfth or early thirteenth century. (Sabra 2007, pp. 122, 128–129. Grant (1974, p. 392) note the *Book of Optics* has also been denoted as *Opticae Thesaurus Alhazen Arabis*, as *De Aspectibus*, and also as *Perspectiva*). This translation was read by and greatly influenced a number of scholars in Christian Europe including: Roger Bacon,^[40] Robert Grosseteste,^[41] Witelo, Giambattista della Porta,^[42] Leonardo Da Vinci,^[43] Galileo Galilei,^[44] Christiaan Huygens,^[45] René Descartes,^[46] and Johannes Kepler.^[47] (https://en.wikipedia.org/wiki/Ibn_al-Haytham#cite_ref-39).

Grosseteste, Bacon, Witelo, Pecham, de Saint-Cloud, Ben Gershon (known also as Gersonides) etc referred to the camera obscura and used it mainly for eclipse observations and experiments for the study of light.

The above image of a possible three-storey camera obscura is attributed to Roger Bacon but its origins are rather ... obscure.

Draft – working towards the above “final” write-uppre-13/1/17

être devant ou derrière la *camera obscura*. Il n'y a qu'un dedans évoqué par Boubat dans sa chambre d'enfant d'où il observe un grand théâtre d'ombres irisées au plafond.

Le sténopé circule du passé au présent, en tous sens, sans s'attacher à une histoire des formes, à la linéarité des âges, à l'emboîtement des cultures. Il renverse nos habitudes et ne cesse de renouveler nos pratiques visuelles.

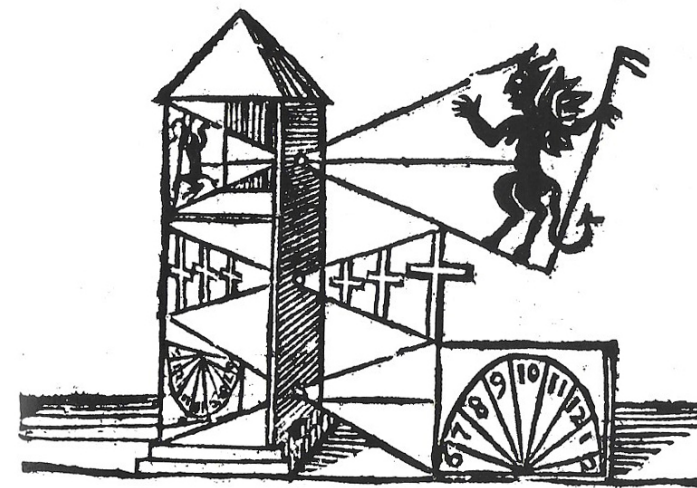
AVANT LA PHOTOGRAPHIE

Peut-on parler d'une tradition du sténopé en amont de la photographie ? Son évocation renvoie à une telle diversité de champs d'application qu'on ne peut pas établir une filiation directe entre ses différents penseurs et usagers. L'éternel retour que connaît le sténopé dans l'histoire des images est lui aussi de nature plurielle ; les témoignages écrits des premiers observateurs le confirment.

Ainsi, le Chinois Mo Ti au V^e siècle avant J.-C., et Aristote le siècle suivant, décrivent sommairement le phénomène rattaché à un ensemble d'analyses sur le fonctionnement de la nature. Entre les deux, Platon fait valoir une interprétation philosophique du sténopé dans le mythe de la caverne. Il lui permet d'asseoir sa théorie de l'original et de la copie, duplication qui sépare la réalité de l'image vers laquelle les hommes se tournent par ignorance. Cette idée suivant laquelle l'image est un appauvrissement du réel renvoie aux premières critiques portées à l'art photographique.

Puis vinrent les astronomes tournés vers le ciel. Alhazen, savant égyptien du début du XI^e siècle, s'introduisait dans une “tente sténopé” pour observer notamment les éclipses du soleil, en étudiant la surface et les mouvements, expliquer le spectre lumineux et les couleurs. Ces expérimentations furent maintes fois reprises à la frontière de la science et de la métaphysique, comme chez Roger Bacon ou Descartes.

Mathématicien et cartographe, Gemma Frisius dessina avec exactitude une *camera obscura* inspirée par celle utilisée pour l'observation de l'éclipse de 1544. Le terme de “chambre noire” fut créé au début du XVII^e siècle par Johannes Kepler.

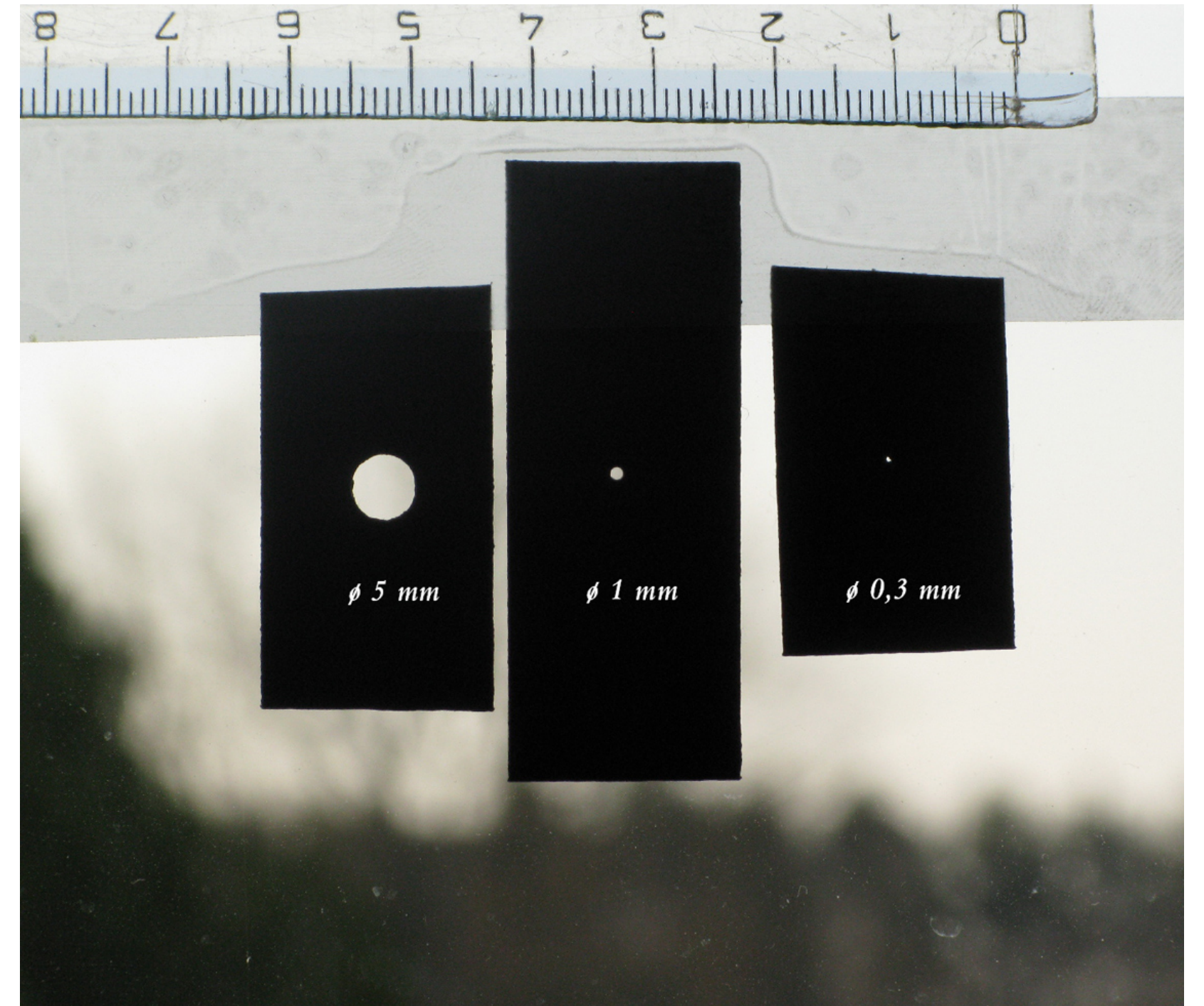


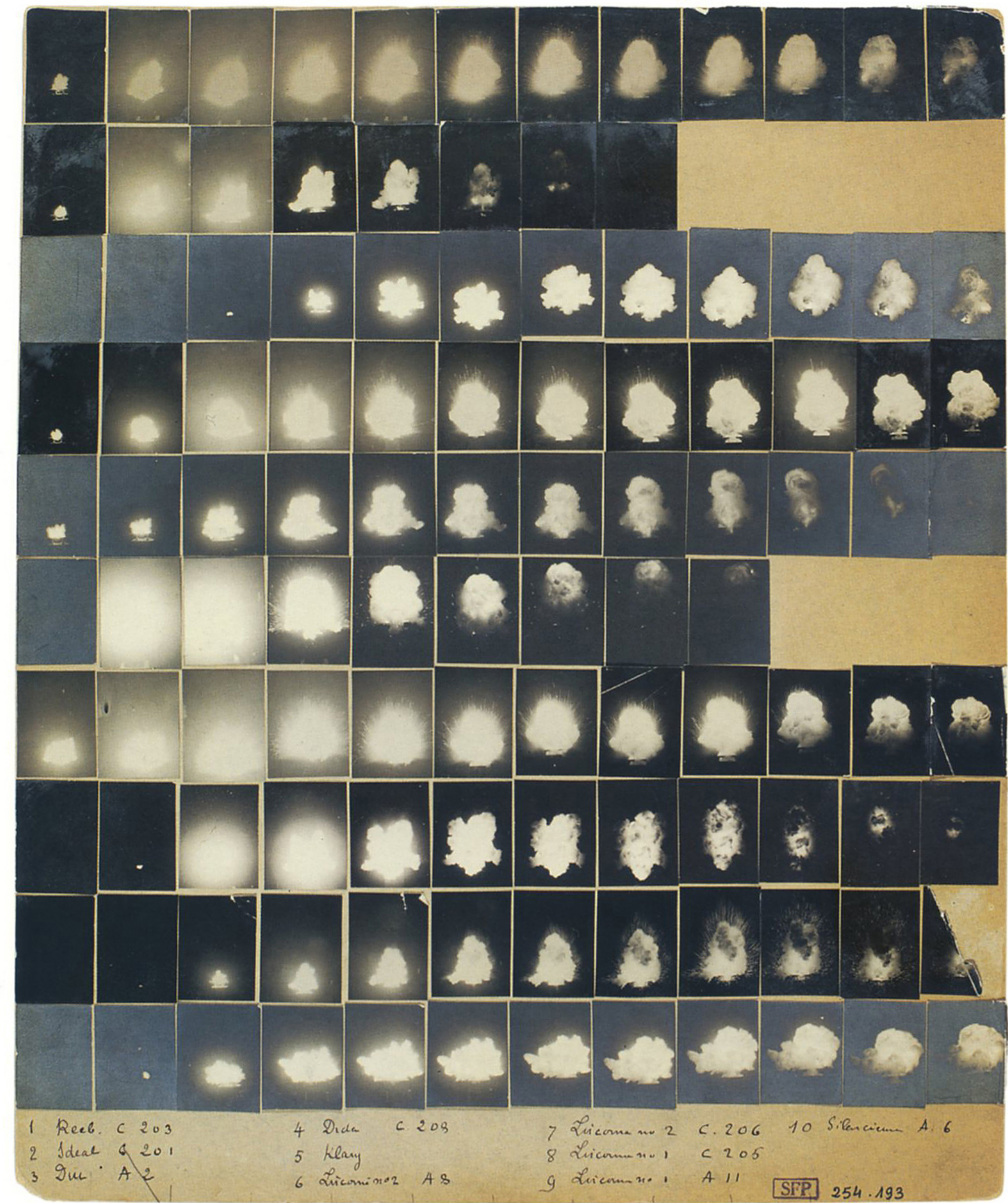
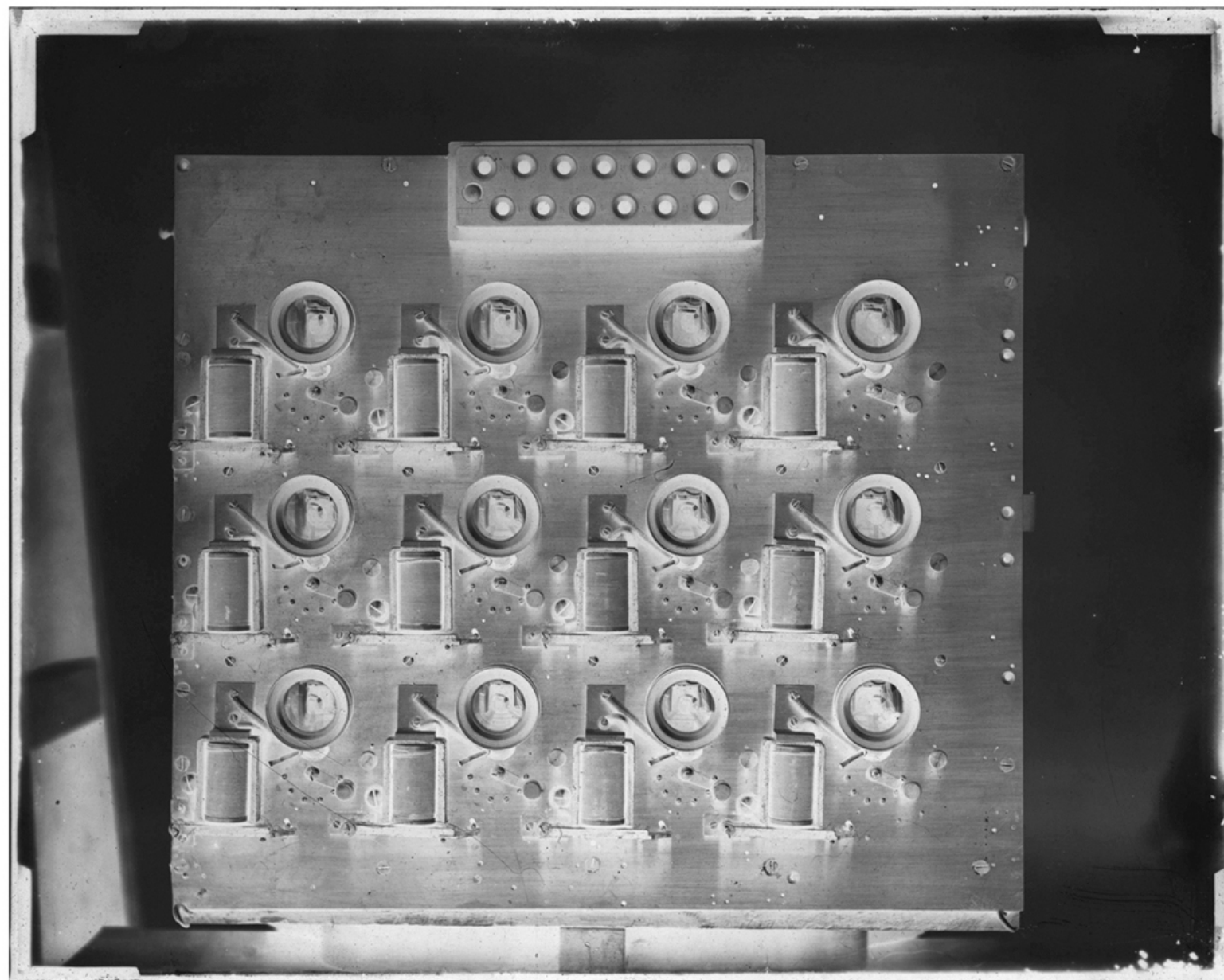
1. Roger Bacon, XIII^e siècle, *Le diable dans la camera obscura*.

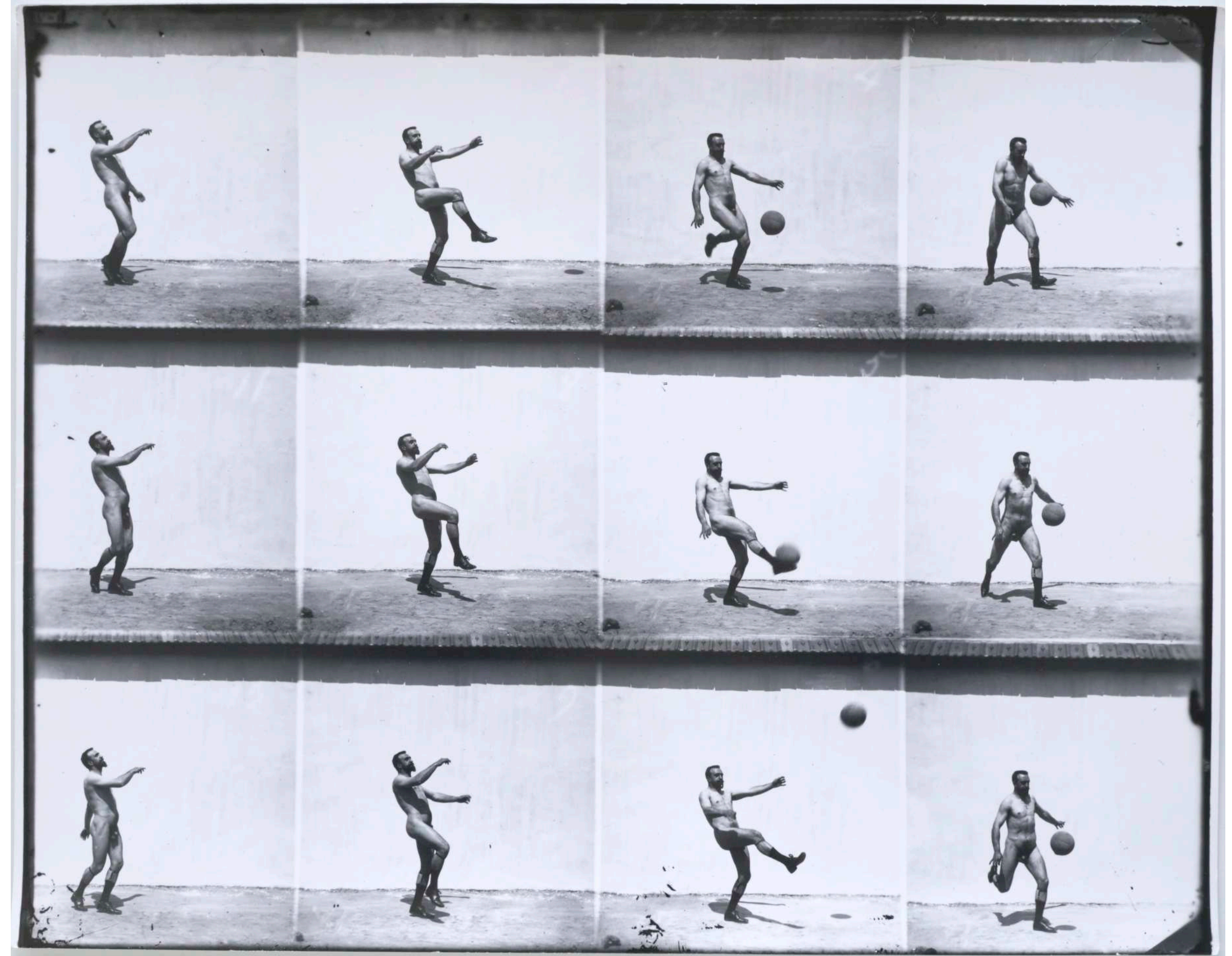
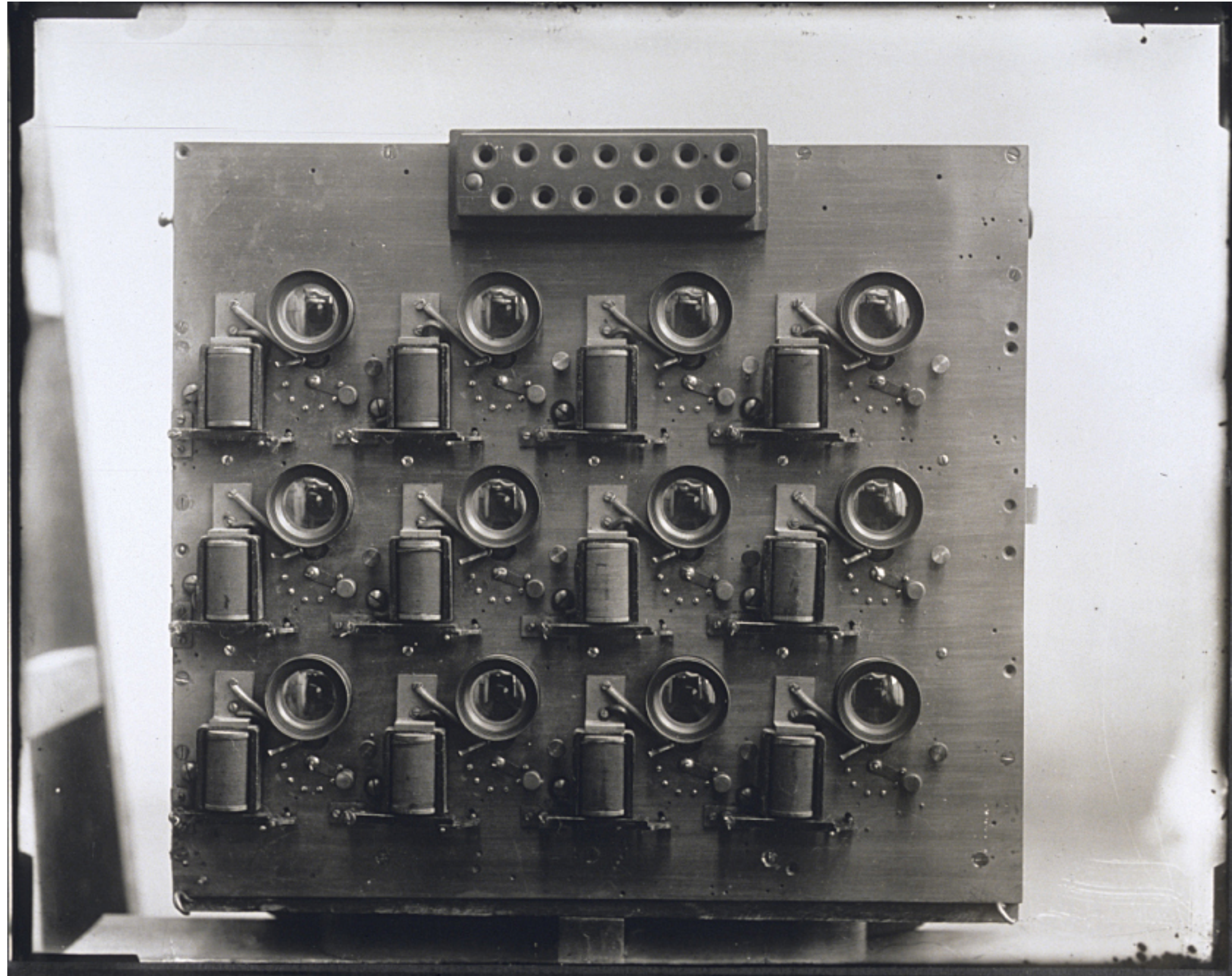
Nachs Pelliander XVIII^e

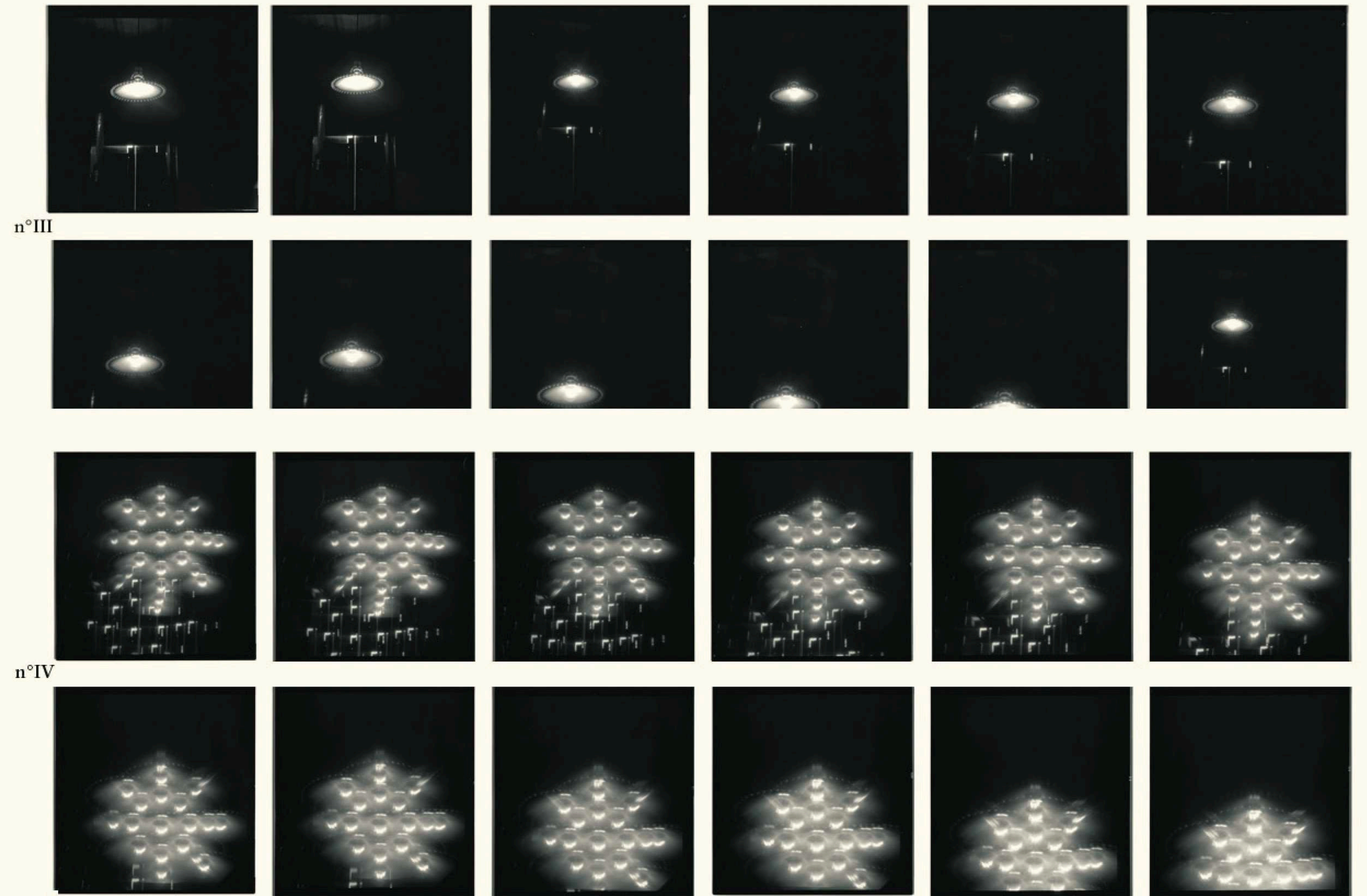
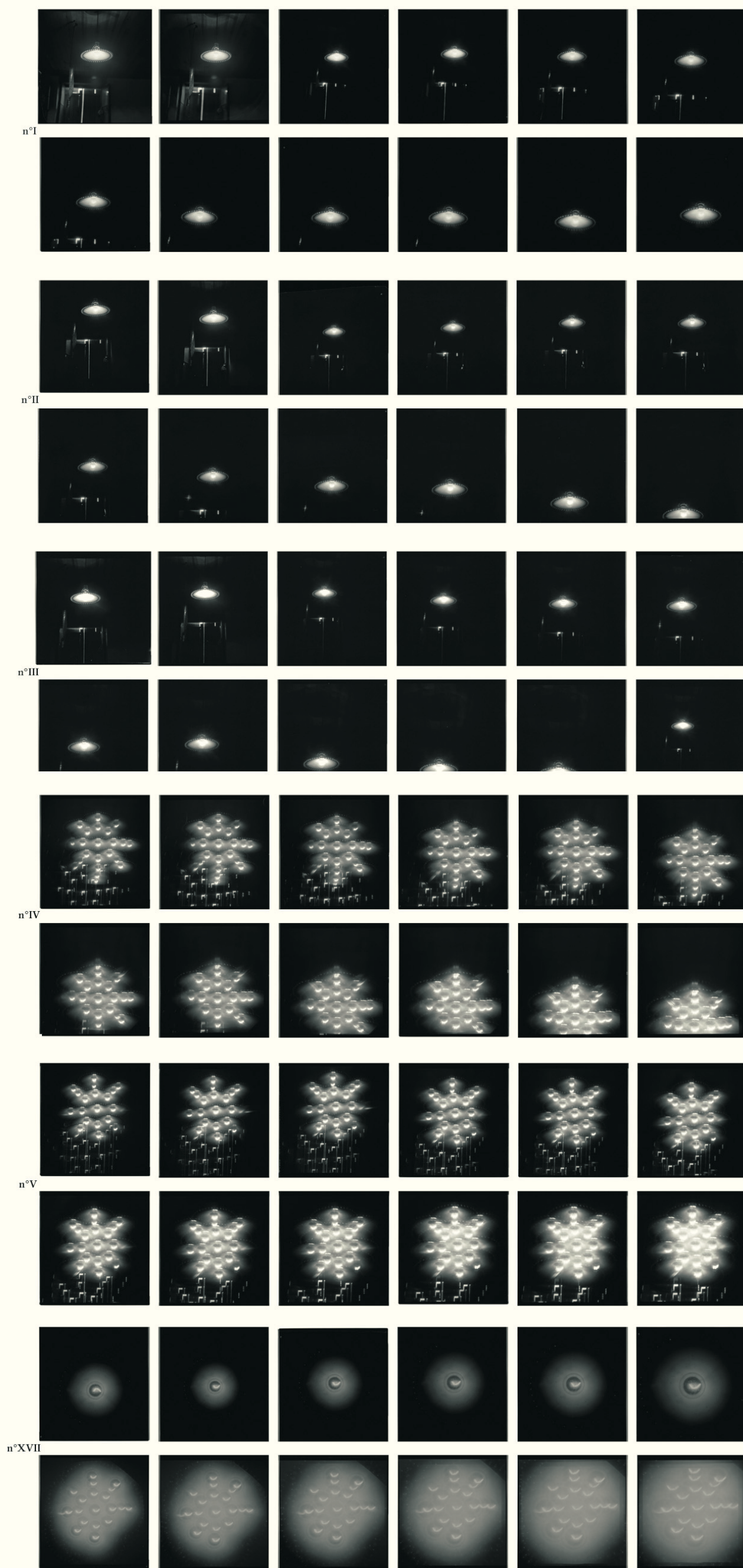
Derniers en date dans l'usage scientifique : les très sophistiqués sténopés de l'Institut de technologie de Californie qui, à partir des rayons X et Gamma, nous livrent des visions inimaginables du cosmos.

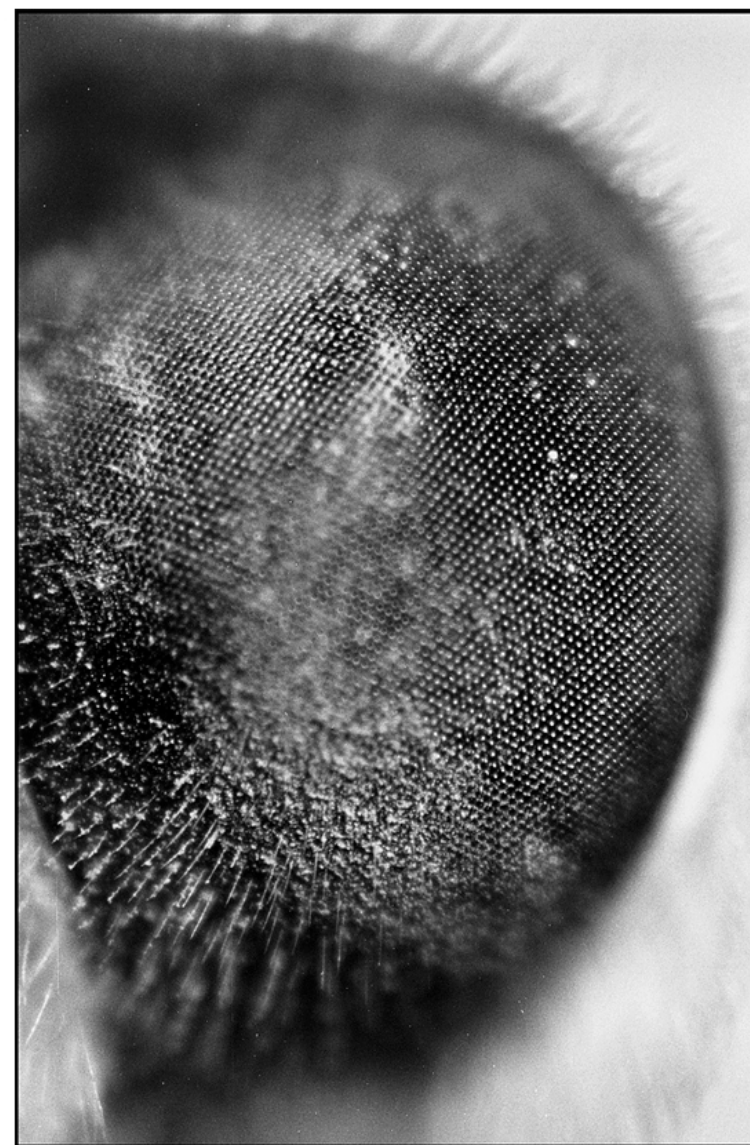
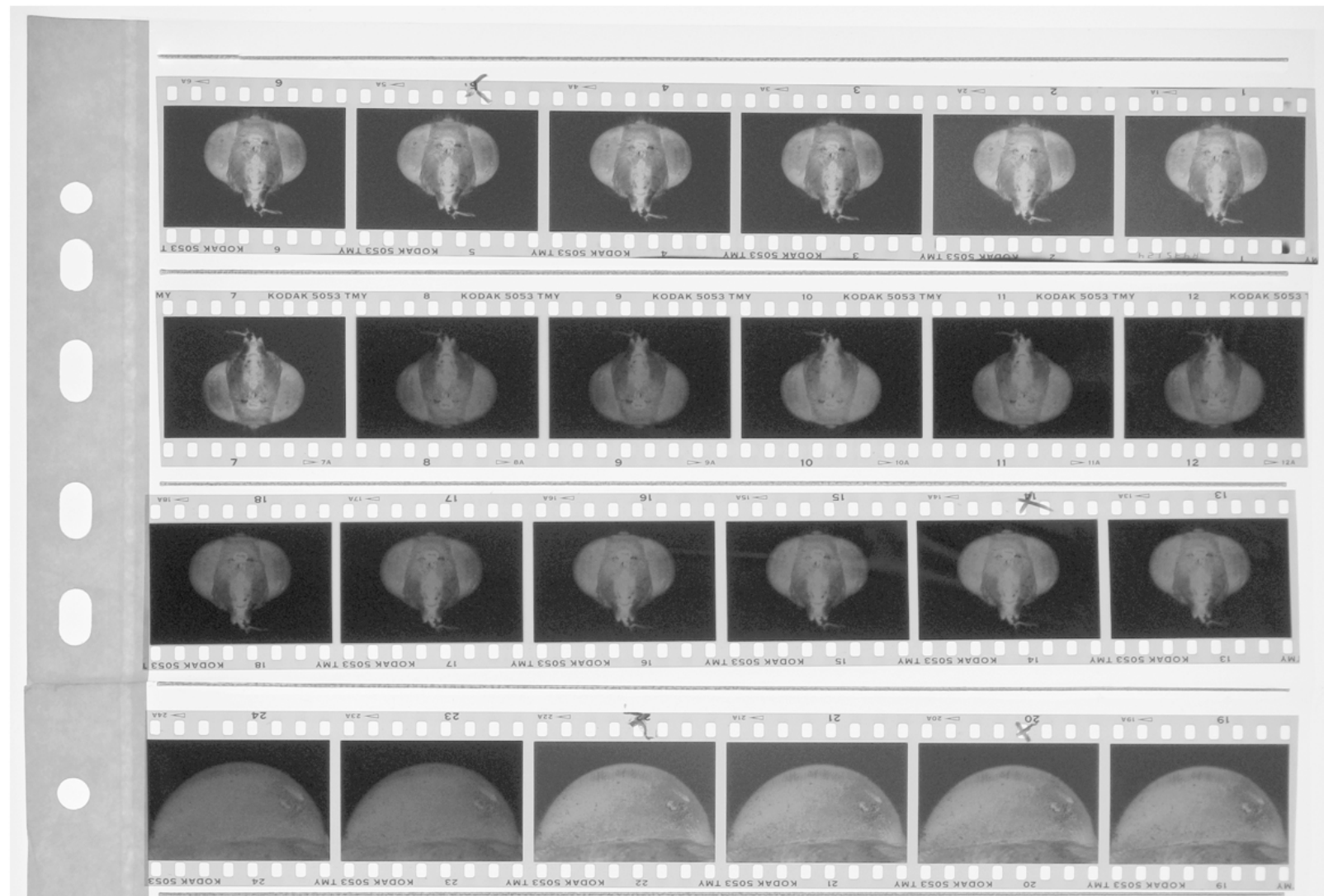
Dans la chambre noire rentreront aussi un grand nombre d'artistes. Dans la Chine du X^e siècle, Yu Chao-Lung faisait apparaître des images sur des paravents à l'intérieur d'une pagode. De la Renaissance au XVII^e siècle, les peintres y ont travaillé la perspective. Certains ont dessiné ou décrit leurs expérimentations comme Dürer ou Vermeer (qui affectionnait tout particulièrement les scènes à la fenêtre d'une chambre). Dans sa démonstration de comment tous les objets placés dans une position spécifique sont partout et en toute part, Léonard de Vinci donnerait une description particulièrement frappante du sténopé pour affirmer la nature lumineuse des corps et de leur mouvement. Il fut suivi par le Napolitain Giovanni Battista Della Porta, à qui l'invention du sténopé fut longtemps attribuée. *par qui?*







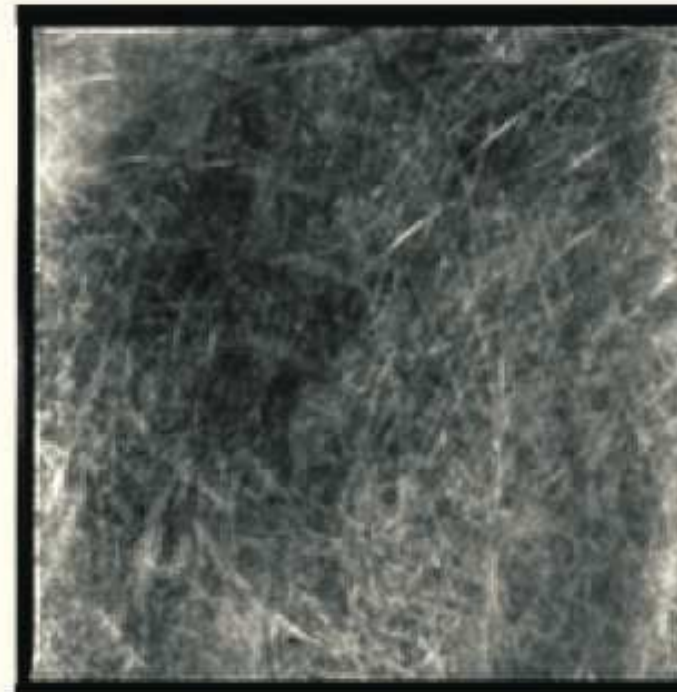
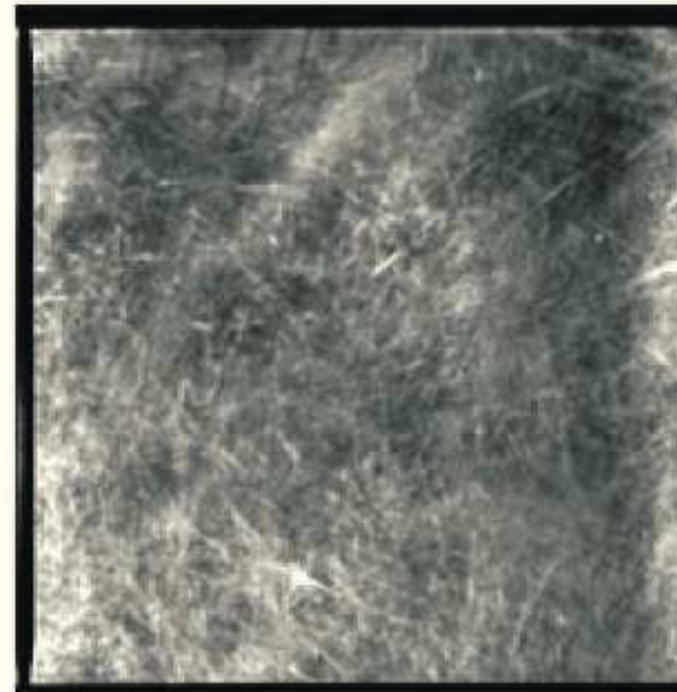
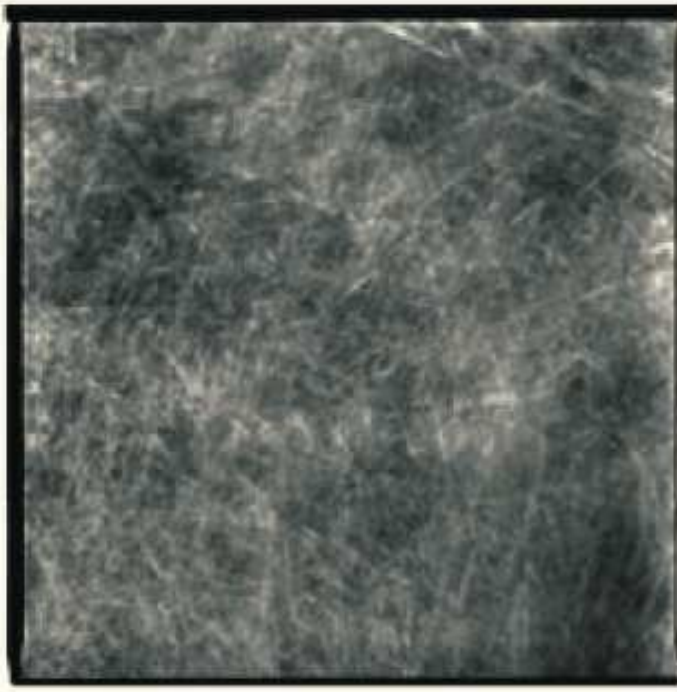
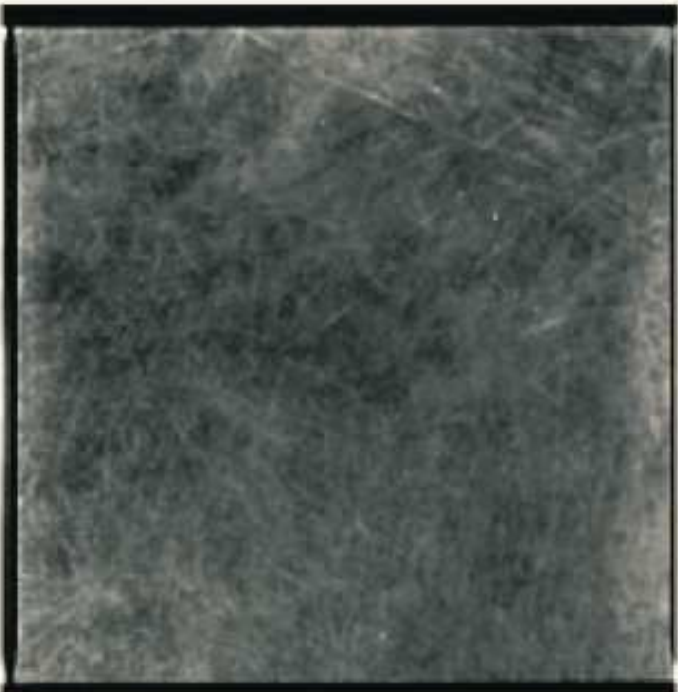
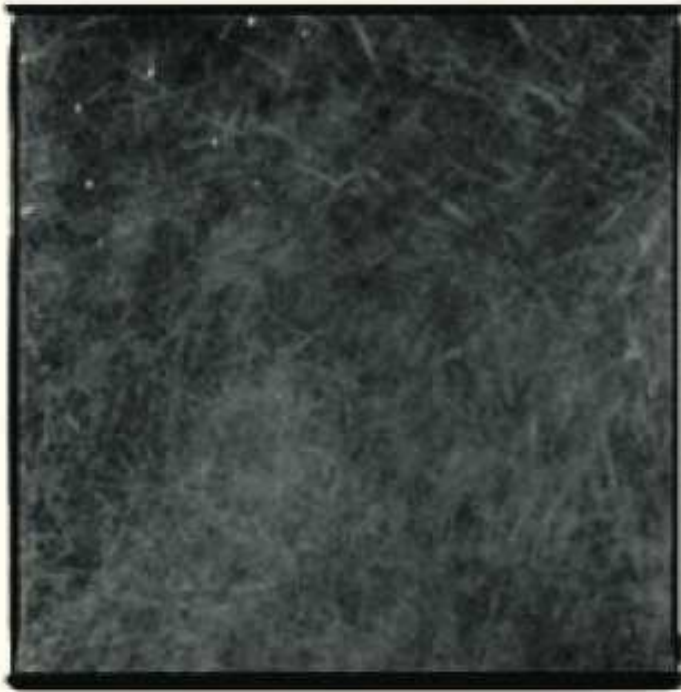


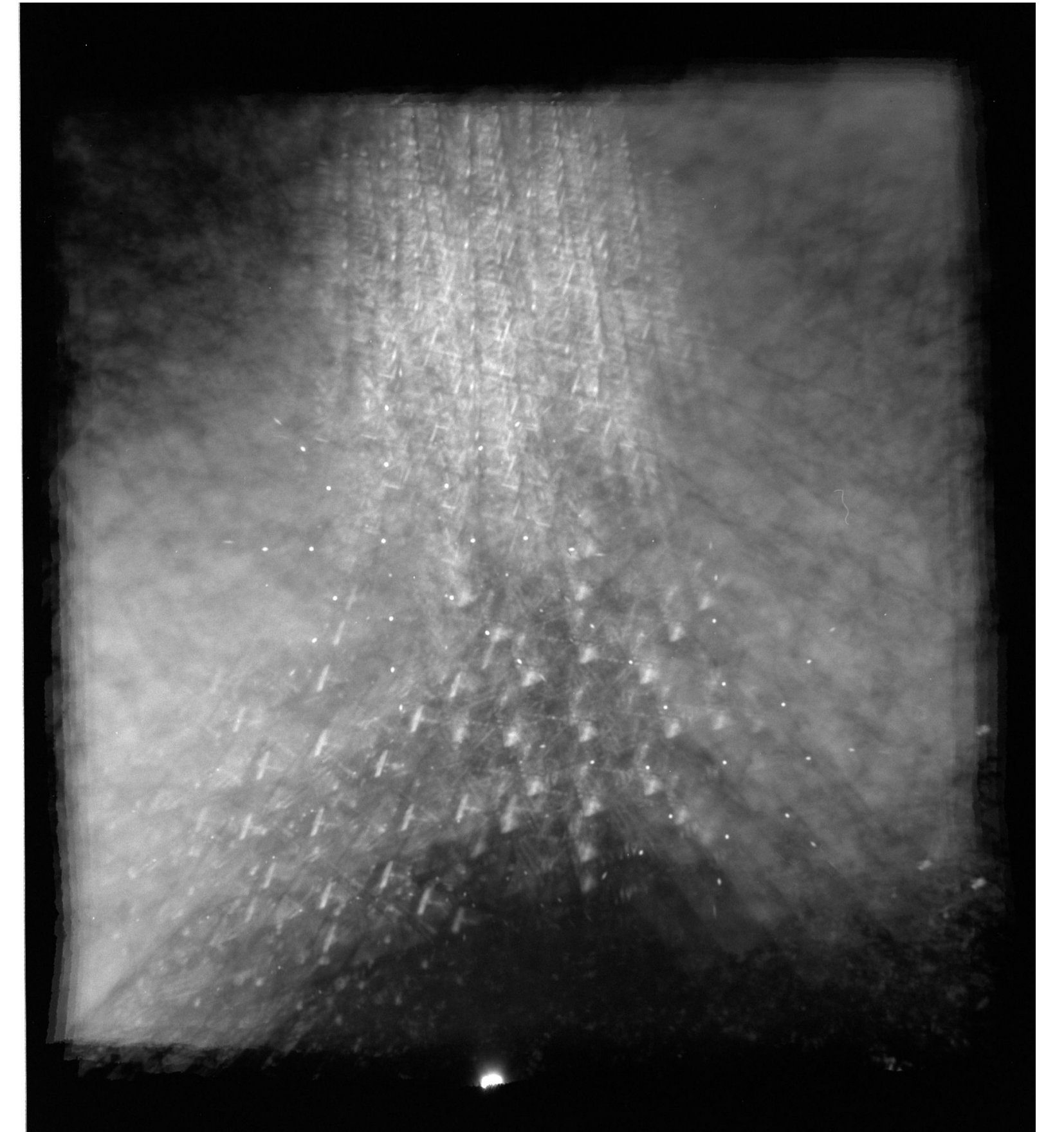
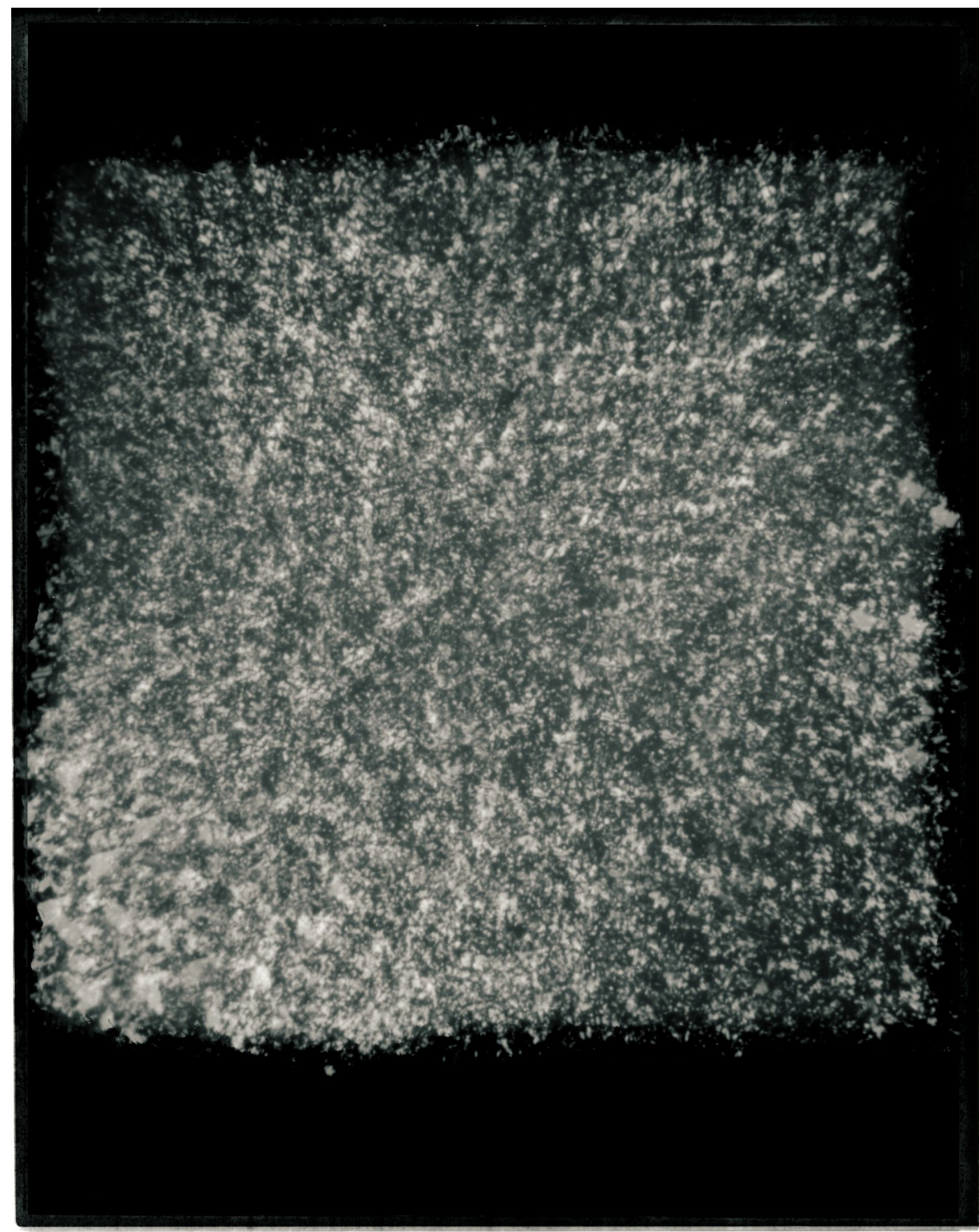






XX





LAT 44 4 48 LON 10 7 15

28 JUN 1978



Dominique Stroobant June 28, 1978 one day exposure 7" x 9" pinhole photograph from camera H₂-R. collection of the photographer

*Light Paths
Solar Recorders
and
a
Pinhole
Telescope
Vol. 4 #2*

PINHOLE
JOURNAL



Nancy Spencer Turkeys 9" x 12" pinhole photograph 1988

Special Issue

*Landscape
and
Metaphor*

Vol.4#3

PINHOLE
JOURNAL

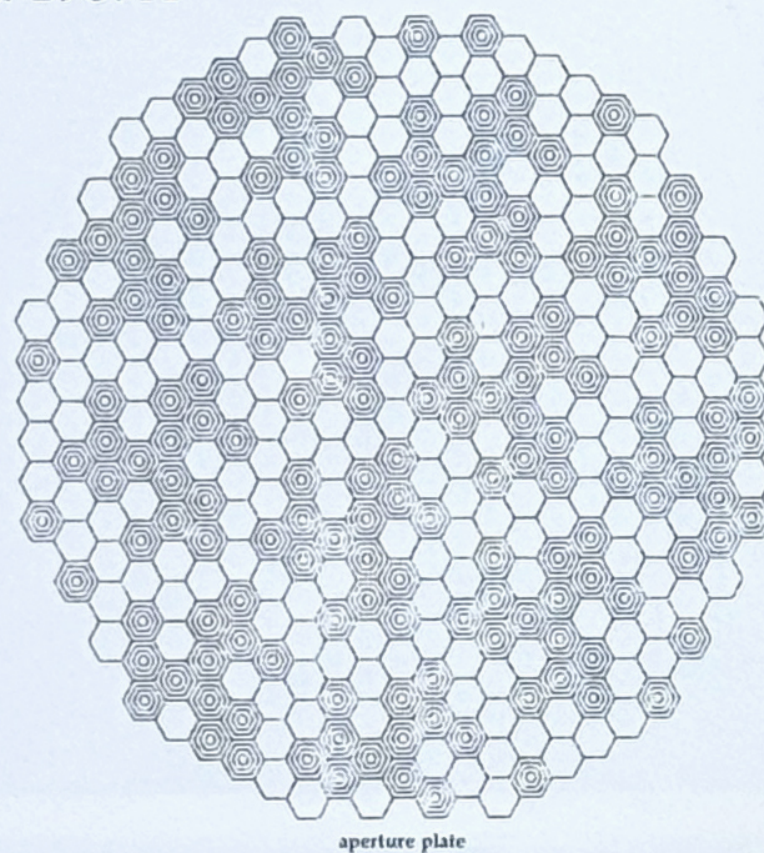
Pinhole Telescope: first Gamma-Ray Image of Supernova 1987A

Thomas A. Prince
220-47
California Institute of Technology
Pasadena, CA 91125

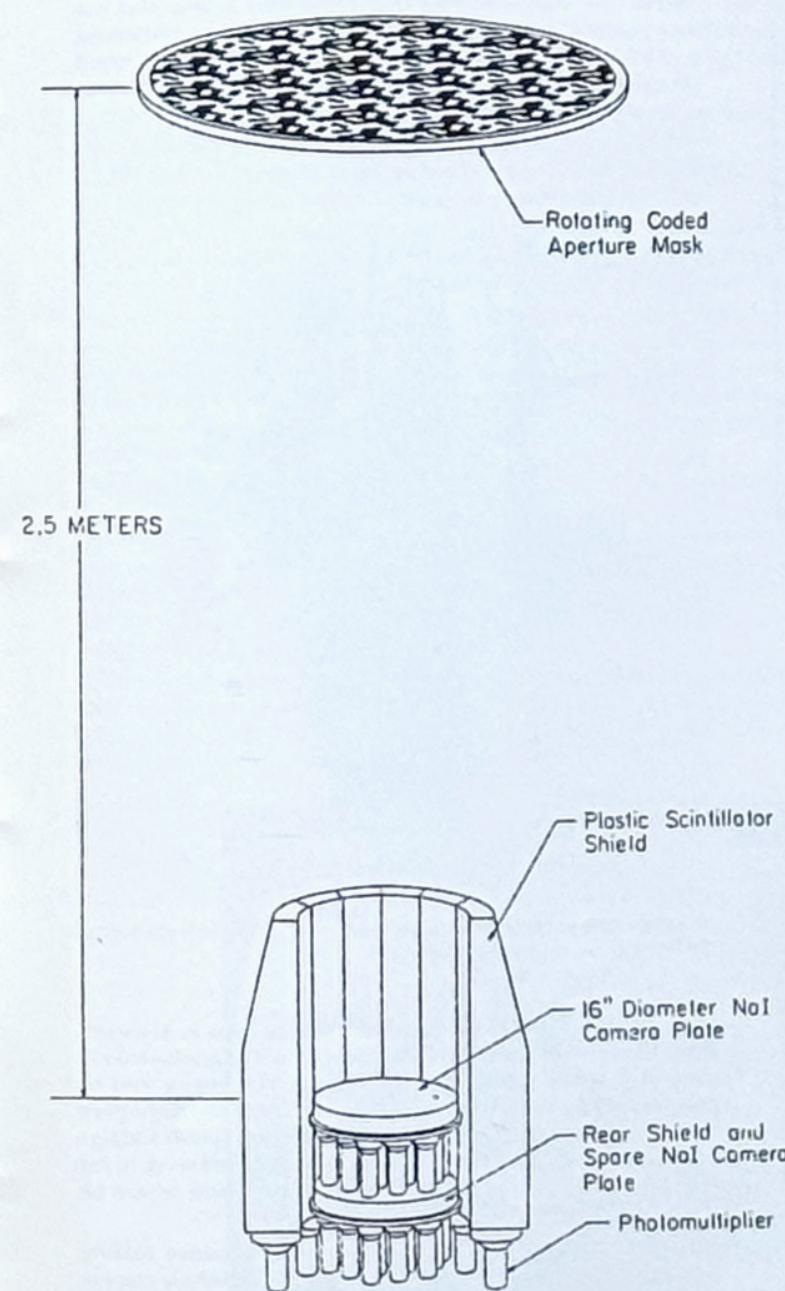
"The Caltech imaging gamma-ray telescope was launched from Alice Springs, Northern Territory in Australia on November 18. It observed the supernova for approximately two and one-half hours starting at 14 hr. 30 min. U.T. The telescope used a technique called coded-aperture imaging to produce images in a wavelength region where mirrors and lenses are not feasible. A coded-aperture imager functions like a multiple-pinhole camera. In such a camera, multiple holes cast overlapping images on a position sensitive electronic detector. The individual, overlapping images are unscrambled using a computer and superimposed to yield the final image of a gamma-ray source. Examples of coded-aperture hole patterns are shown in the accompanying diagram. A diagram of the Caltech gamma-ray telescope is also shown, as well as the coded aperture pattern actually used in the telescope."

"Using the coded-aperture technique, the Caltech telescope produced the accompanying slide image of Supernova 1987A. This is the first such image of the supernova at gamma-ray energies. Indeed, it is one of the first few images at gamma-ray energies (100 keV to 10 MeV) of any astronomical object. The hard x-rays and gamma-rays which make up this image are thought to be direct and scattered photons from the decay of radioactive cobalt 56 newly produced in the explosion of the supernova. The field of view shown in the slide is 12 degrees across and the supernova itself is unresolved. The background in the supernova field is produced by statistical fluctuations in the diffuse hard x-ray and gamma-ray background and does not necessarily represent real structure."

Thomas A. Prince Feb. 1988

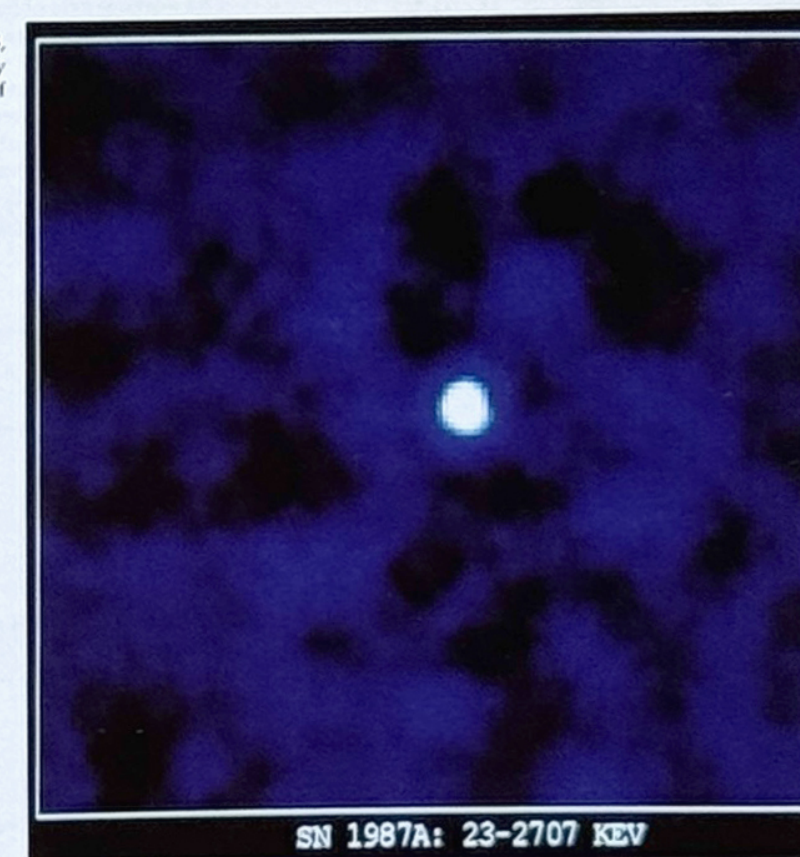


aperture plate



Thomas A. Prince Aperture mask and telescope used with First Gamma-Ray Image of Supernova 1987A courtesy California Institute of Technology, George W. Downs Laboratory of Physics, Pasadena

Thomas A. Prince First Gamma-Ray image of Supernova 1987A Nov. 18, 1987 coded aperture pinhole image from 35mm transparency courtesy California Institute of Technology, George W. Downs Laboratory of Physics, Pasadena



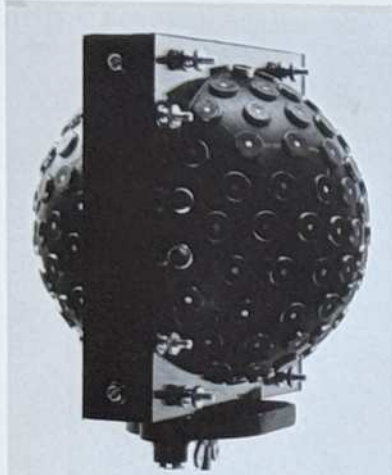
Thomas A. Prince 1 1/4" X 2" lens photograph by unidentified photographer

Thomas A. Prince was born in 1948 and is Associate Professor at California Institute of Technology. He holds a B.S. in Math from Villanova and an M.S. and Ph.D. in Physics from the University of Chicago. Major research responsibilities have been in space research, gamma-ray astronomy, and high resolution optical imaging of astronomical sources. In 1984 he received the Presidential Young Investigator Award (NSF) and in 1987 the Associated Students of Caltech Award for excellence in undergraduate teaching. He is a member of the American Physical Society and the American Astronomical Society.



"Exploding Stars Shown to Yield Life Elements" by Malcolm W. Browne © 1987 by the NEW YORK TIMES CO. reproduced by permission Thursday December 17, 1987 page A29 (clipping sent to the Pinhole Resource by Adam Fuss)

Light Captures
Denis Bernard



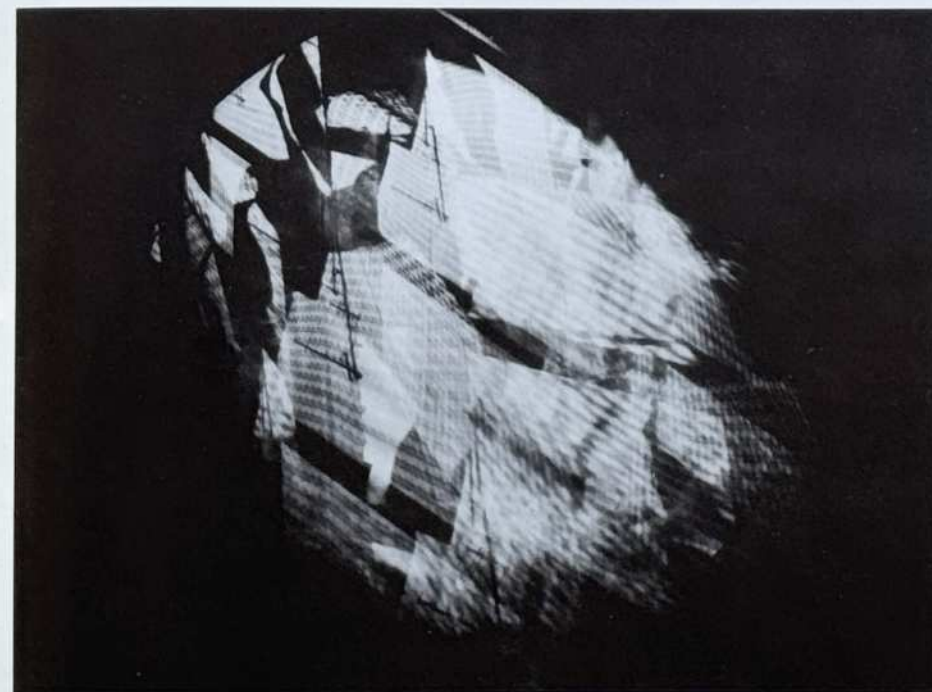
Denis Bernard Capture Photographique à Sérénités Multiples réalisation 1985/1987 camera uses 4" x 5" sheet film holders or 2 1/4" roll film back for 4" x 5" or 4" x 3" (folded back) lens photograph by Christian Bonnard



Denis Bernard Capture #4 Sept. 1987-Nov. 1987 7 1/2" x 10 1/2" pinhole photograph



Denis Bernard Capture #7 Sept. 1987-Nov. 1987 7 1/2" x 10 1/2" pinhole photograph



Denis Bernard Capture #1 Sept. 1987-Nov. 1987 7 1/2" x 10 1/2" pinhole photograph

"The instantaneous photography worked too fast to my opinion: I began using the pinhole. With its one-point-of-view lens, the camera was one-eyed. I multiplied the points of view and use long exposures. The very first model of mine was the vision of insects, other forms of visual perceptions (particularly the fish: the 'Anabaps' you have heard about, of course) ... One thinks they've got 4 eyes in fact they've got only two of them: They simultaneously see sky and water; they live over water) constituted the origin of my questioning of photographic space and its reading."

"It is mere catching of the light that interests me, as far as it requests mixing specific to the photography: - The resorption/absorption of the light by the motive: its identification is not my concern."

"What is given to be seen remains to be defined when the camera works without me."

Denis Bernard December 1987



Denis Bernard photograph by Christian Bonnard 5" x 7" lens photograph 1987

Denis Bernard
Born in 1961.
Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts de Paris. Engraving workshop 1981-Ecole Nationale Louis Lumière 1983-85. Certificate of professional aptitude of Photographer 1986.
"Chargé d'Etudes" at the Musée Rodin. Responsible for the photographic inventory since 1985.
Research on Albert Louche. Organization of the Albert Louche exhibition at the "Rencontres Internationales de la Photographie", Artes 1986. Exhibition. Publication with André Gunther: "Albert Louche, on La Photographie du temps immobile" Art Press, June 1987.
"Photo de Vacances-Denis Bernard" Radio program broadcast on French-Culture October 11, 1987 (Directed by André Gunther)



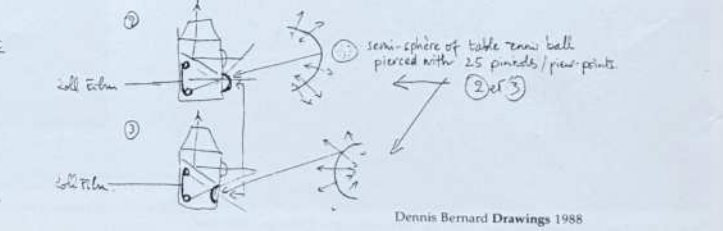
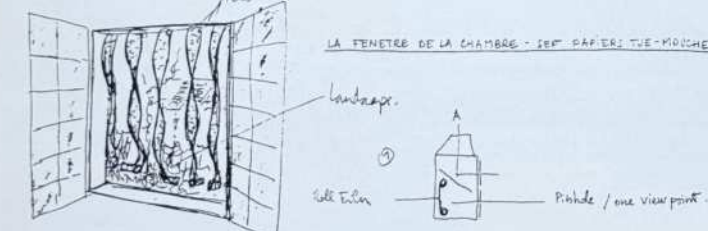
Denis Bernard The window of my room—seven fly-papers (Photos de Vacances) 3 - 8" x 8" pinhole photographs 1984



#1: 1 pinhole



#3: 25 pinholes in ball placed concave



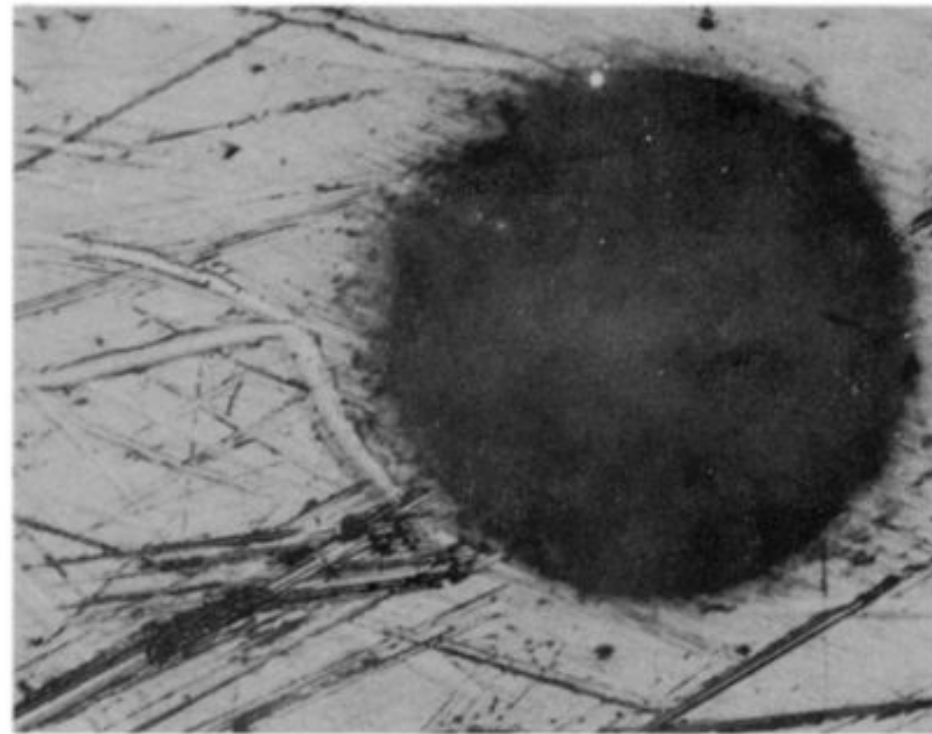
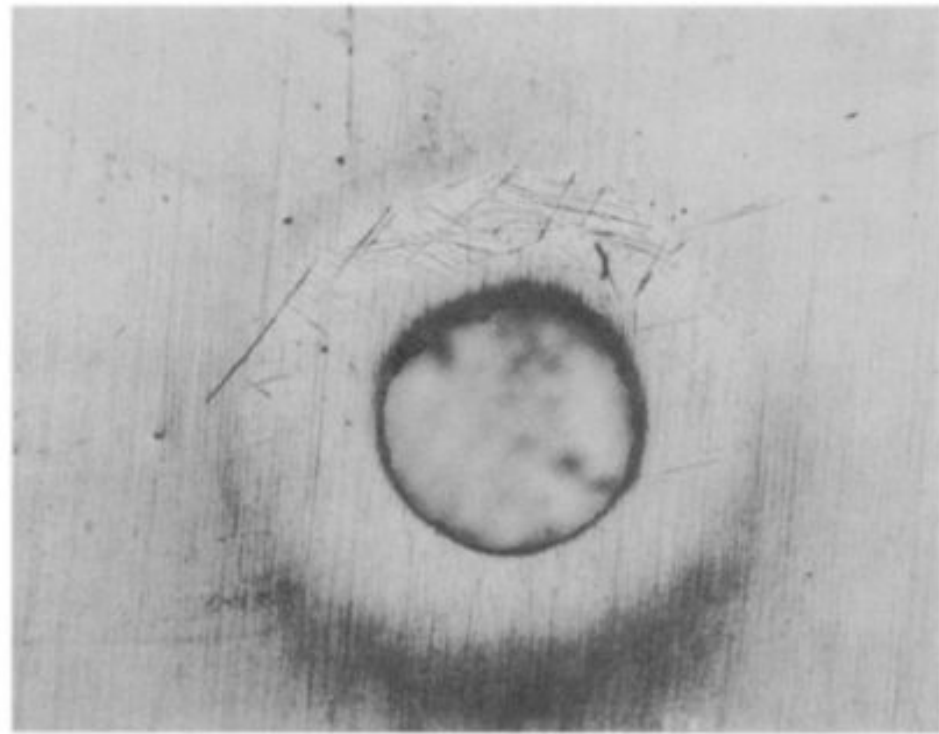
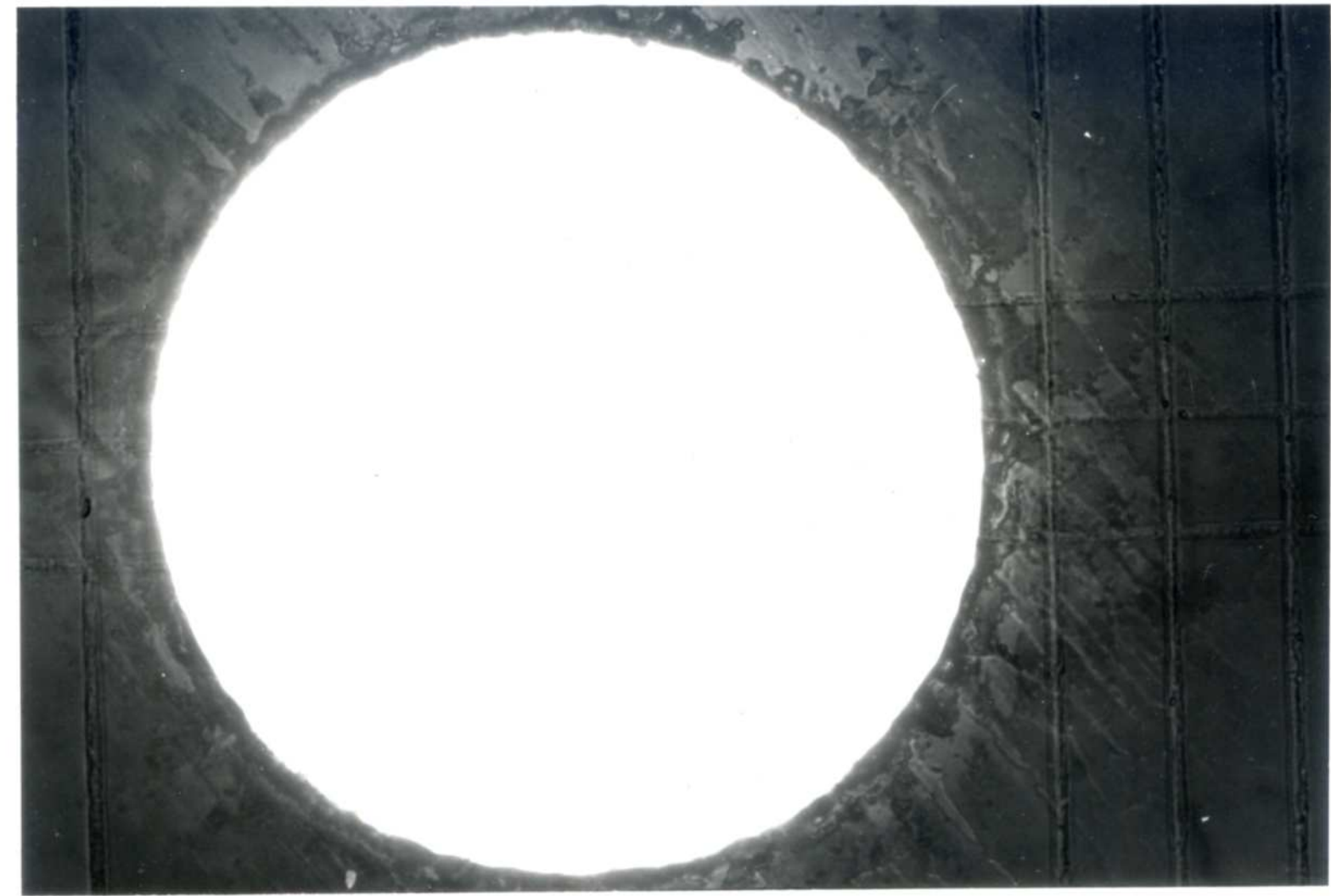
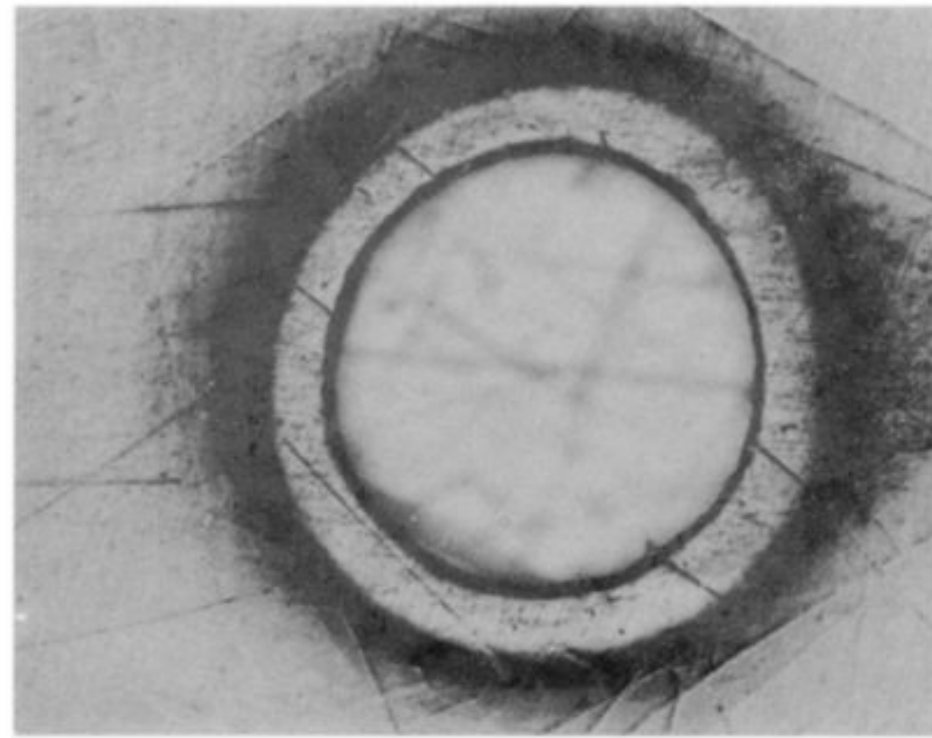
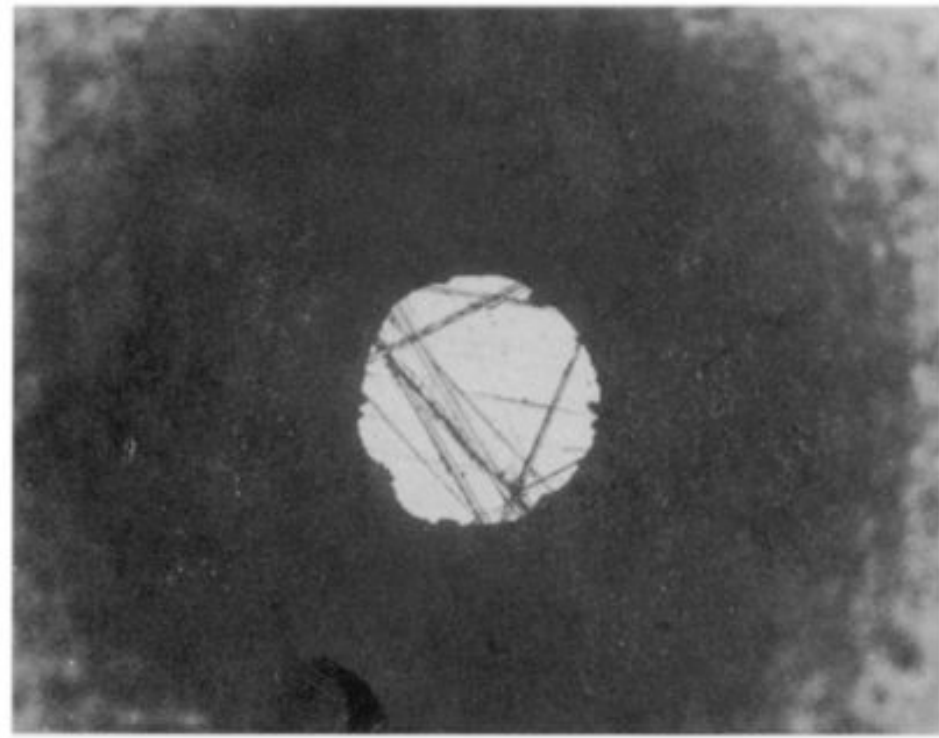
Denis Bernard Drawings 1988

located so far comes from philosophy and linguistics. Psychologists have picked it up as well. Some of it addresses literary concerns. Relatively little of the literature addresses the visual arts, perhaps because it is harder to talk about and examples are more difficult to present.
For our purposes here, we will define metaphor simply as the expression of one thing or one idea in terms of another. "... a good metaphor implies an intuitive perception of the similarity in dissimilarity." (Aristotle, Poetics 1459a) It involves comparison, often of something not easily described with something else that is, or producing a new relationship between two things. It often is surprising, if artfully done; a good metaphor can elicit sudden insights.
Some writers talk about "dead metaphors" which have collapsed into common talk. If we speak of "food for thought",

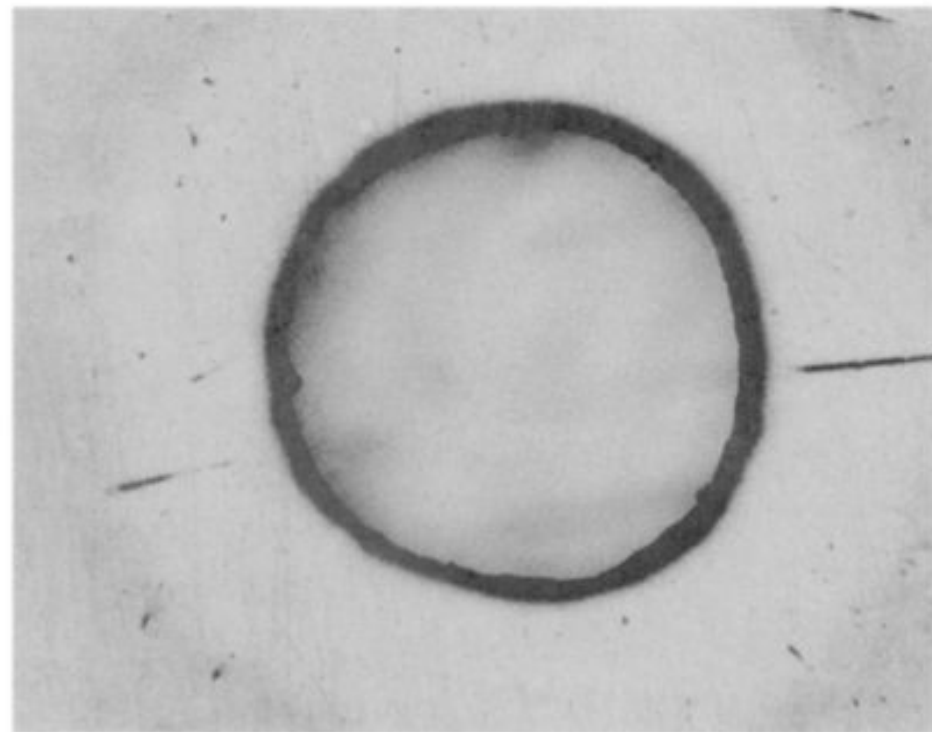
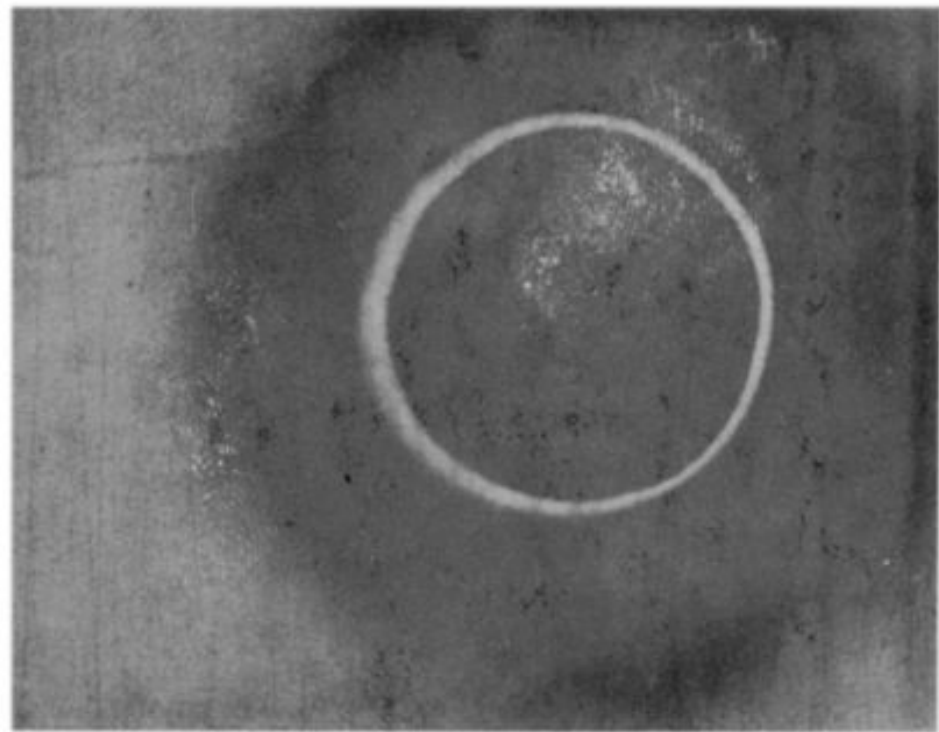
no one takes note: it is such a common phrase, but it is a metaphor expressing thought in terms of digestion. For most of us, digestion seems more tangible than the processes of the mind, so we commonly express this idea as a metaphor. I am having a hard time even thinking of a non-metaphoric equivalent. To single out dead metaphors presupposes that an essential quality of metaphor is an element of newness or surprise. Slightly this is the glory of metaphor, but dead or alive, they all seem to express one thing in terms of another. "Food for thought" is as much a metaphor as "... the dark backward and abysm of time..." which describes the past in terms of traumatic topography. We will leave this argument to the semanticists noting that some metaphors roll right over and others leave us breathless.
Rather than strictly a communicative device, we may be dealing here with something very much like a sense in the

way that smell, touch, or sight are senses. If you look at any language, it is full of functioning metaphors which are employed routinely and unconsciously, and seem to be linguistic expressions of conceptual activity. For example, progress = forward, good = up, bad = down, a ruler is above the people, the future is before us and the past is behind, through hard work we can elevate our station but misfortune can bring us low. Lakoff and Johnson point out that we speak in terms of war as warfare, in that we attack and defend positions, try to destroy our opponents, gain and lose ground, etc. They point out that this is not an exception but the rule; this is the way we ordinarily speak of argument and if you look for other ways to talk about argument you will end up instead having a genteel discussion where no one can win. There are literally thousands of examples; indeed, it is difficult to find concepts which stand on their own in any

language: The our concepts metaphoric or There may be our brain. Ea without our effects of pre aggregates of become ingrati as templates a sion comes in various templ able template, it fits a templ fits no templ

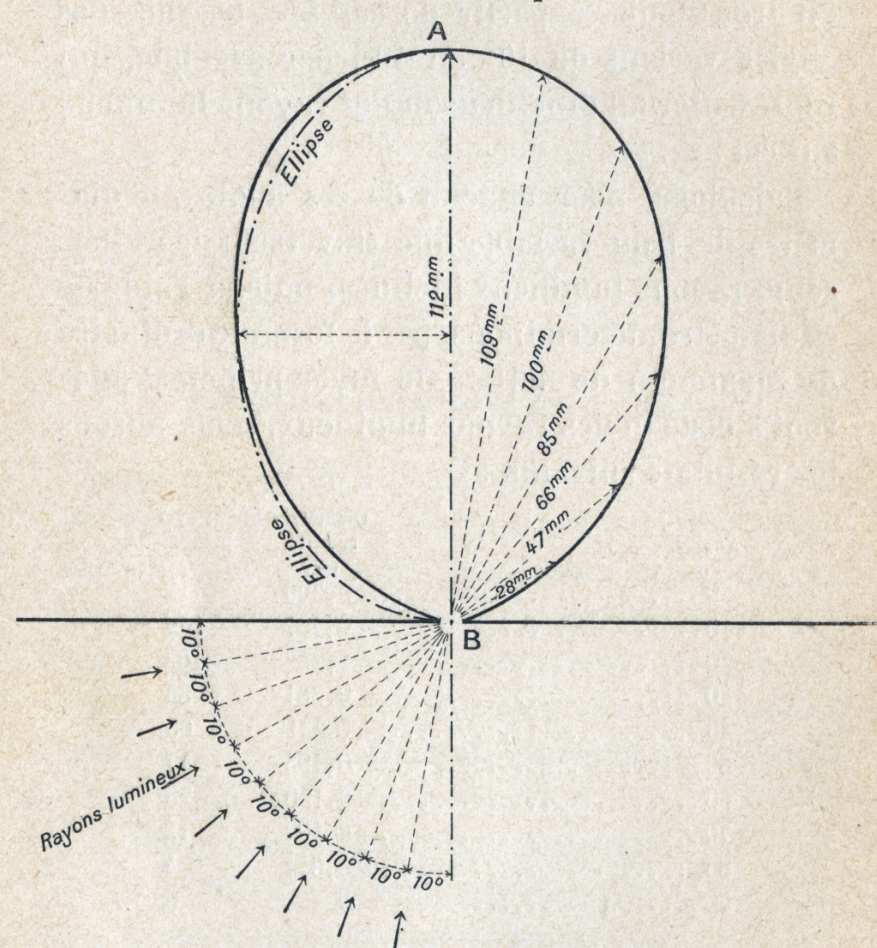


pinhole n° 11-7-7-88
 BLACK CHROMED
 $\phi = 0,178 \text{ MM}$ $\times 10,05 \times$
 MM



(fig. 16) qui remplira les conditions mathématiques exigées par la formule du maximum de

Fig. 16. Échelle $\frac{1}{2}$.



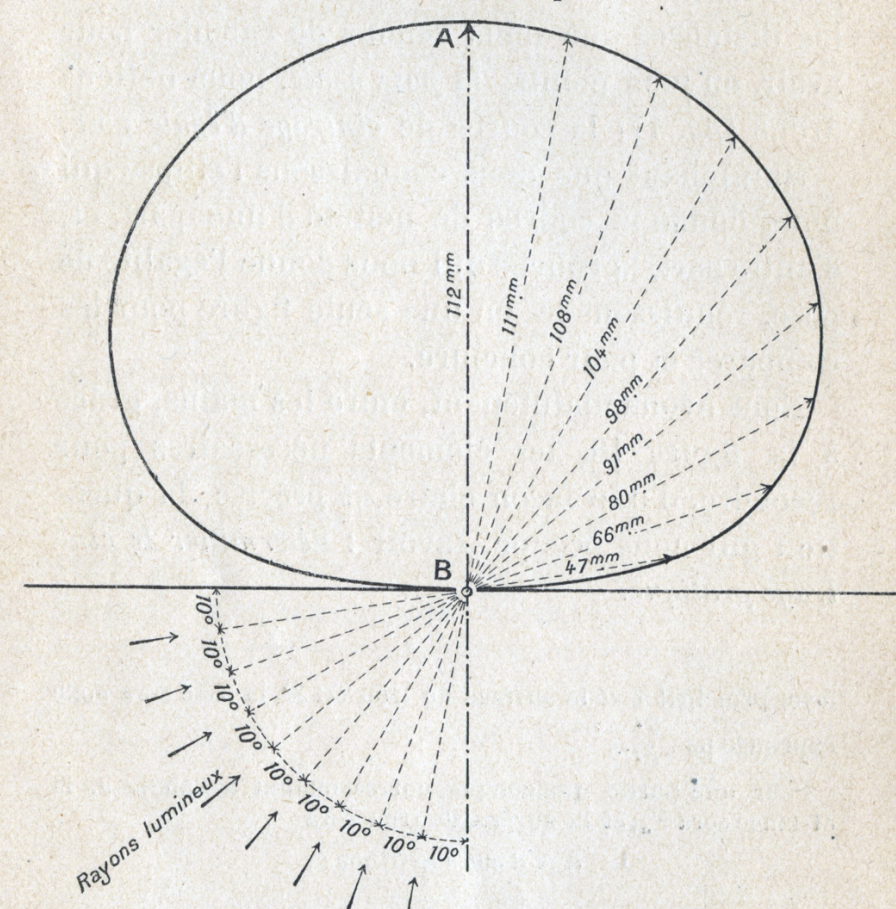
CINTRAGE DE NETTÉTÉ ABSOLUE.

netteté. C'est donc là le cintrage que devrait épouser la surface sensible.

Cette courbe n'a pas une forme géométrique

Si nous adoptons, pour la forme de la surface sensible, la forme elliptique, nous aurons réalisé

Fig. 17. Échelle $\frac{1}{2}$.



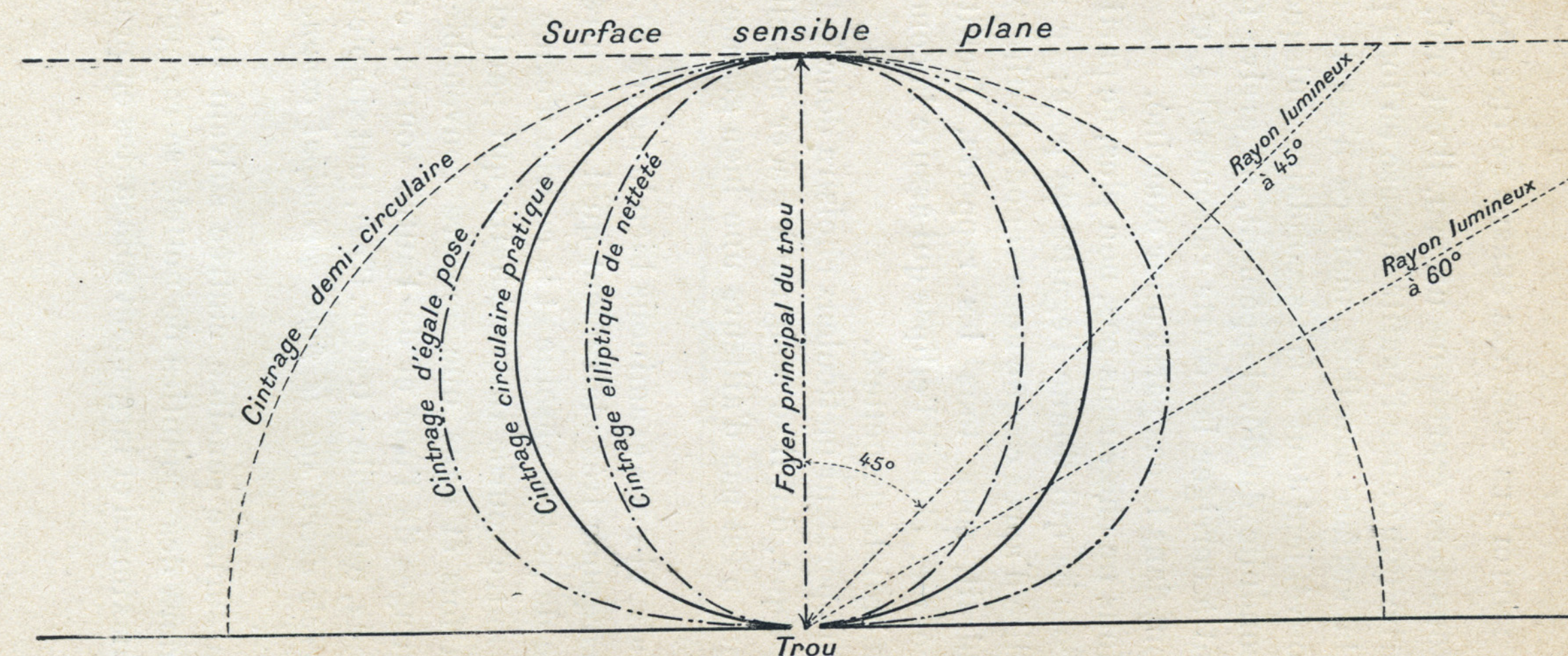
CINTRAGE D'ÉGALE POSE.

les conditions les plus parfaites au point de vue de la netteté de l'image.

Nous aurons le maximum de netteté compatible avec l'emploi du procédé.

CINTRAGE CIRCULAIRE PRATIQUE.

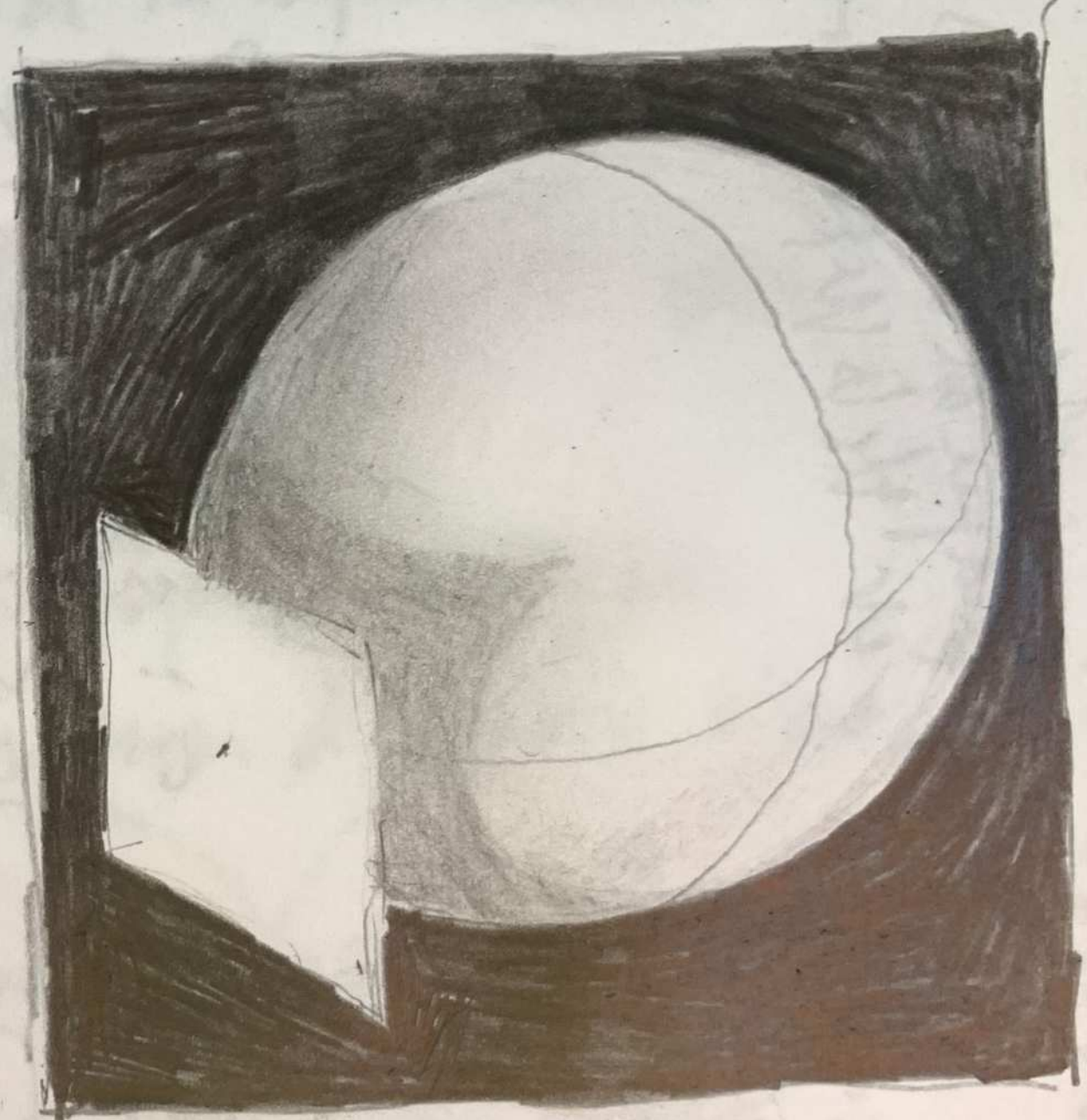
Fig. 18.



Dessin supposant l'emploi d'un trou rond de 0^{mm},3. Échelle de demi-grandeur.

d'élancement d'image, (son) optique, son lieu, son étendue
donc son format, sa forme et sa quadrangulation.

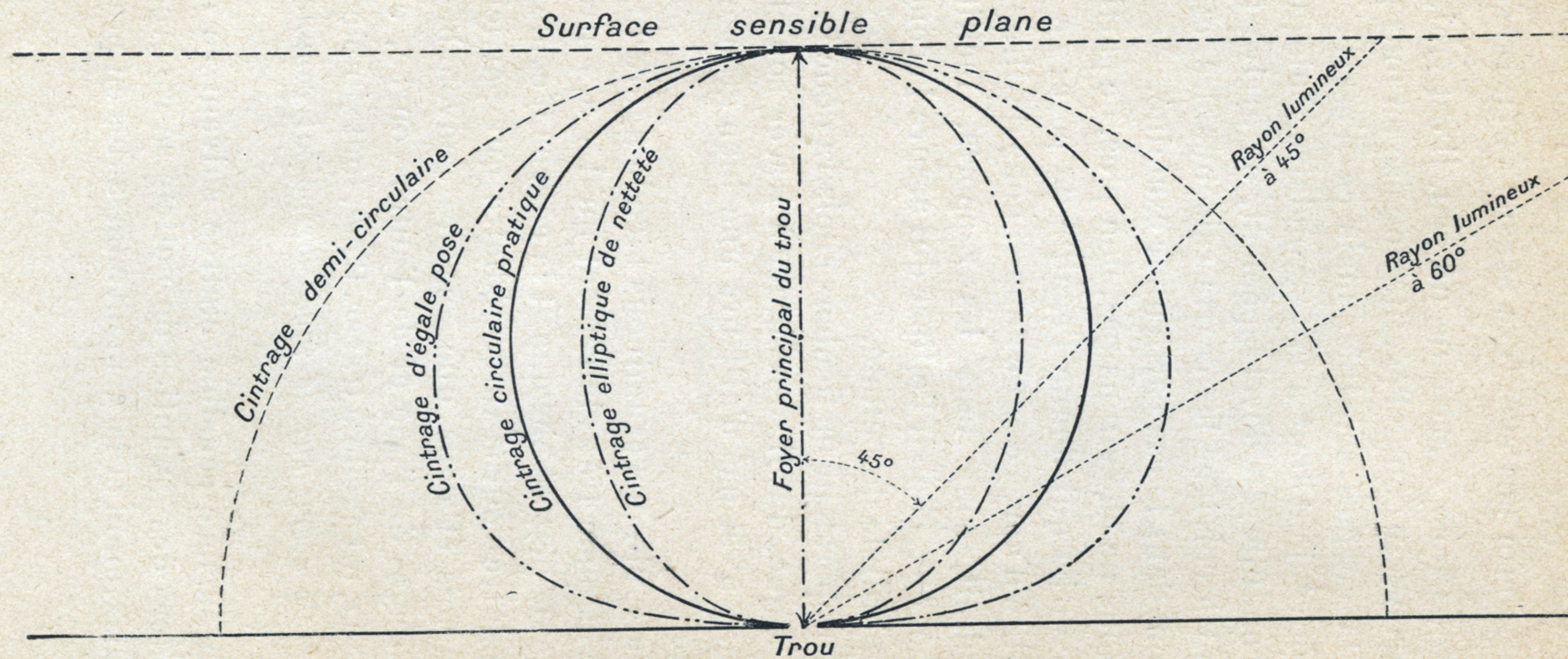
forma
topographique



Non rompre d'inscrire en pb technique et de
form. optique > per a pif.
... ..

CINTRAGE CIRCULAIRE PRATIQUE.

Fig. 18.



Dessin supposant l'emploi d'un trou rond de 0^{mm},3.
Échelle de demi-grandeur.

Partie II

La part et la place des photographes

OU EN EST LA PHOTOGRAPHIE INTEGRALE?

Avant d'exposer les résultats obtenus dans les divers essais que j'ai tentés en vue de la réalisation de la photographie intégrale, imaginée en 1908 par le physicien Gabriel Lippmann, je ne peux m'empêcher de regretter que des savants ou des industriels ne se soient pas intéressés davantage à cette étude. On sait cependant que tout progrès n'est, le plus souvent, obtenu qu'au prix d'efforts collectifs.

La France, berceau de la photographie, se doit de parfaire l'œuvre d'une de ses gloires scientifiques et ne doit pas attendre, comme cela arrive trop souvent, hélas ! qu'une invention créée par le génie français nous revienne de par de là les océans comme un nouveauté.

PRINCIPE

Le 2 mars 1908, Gabriel Lippmann, alors professeur à la Sorbonne, faisait connaître dans une retentissante

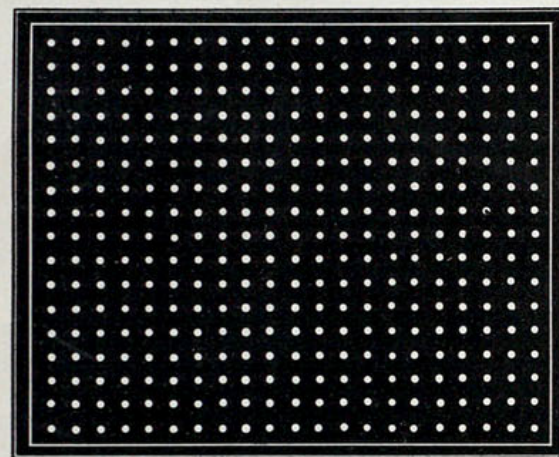


Fig. 1.

communication à l'Académie des Sciences, qu'on pouvait obtenir une photographie, donnant à vision directe, à la fois le relief du sujet et la variation de champ, c'est-à-dire que le sujet photographié flotte dans l'espace et son aspect varie suivant la position de l'observateur, comme si celui-ci se déplaçait devant l'objet lui-même.

Il s'agissait ni plus ni moins d'obtenir, sans objectif, sans chambre photographique, une multitude de petites images sur une plaque photographique spéciale, qu'il dénommait *plaque intégrale* et qui à l'observation directe, par transparence, reproduisait l'image du sujet avec tous les caractères énoncés ci-dessus.

Le principe était posé, il ne restait plus qu'à passer de la théorie à l'application.

ESSAIS DE RÉALISATION D'UNE PHOTOGRAPHIE INTEGRALE

Ces essais ont été systématiquement divisés en trois étapes. J'ai cherché tout d'abord à obtenir, en vision monoculaire, une image unique à l'aide d'une multitude d'images du sujet. La vision étant monoculaire, le relief était évidemment absent.

J'ai ensuite obtenu deux vues stéréoscopiques du sujet, chacune étant constituée, comme dans le premier essai, d'éléments d'une multitude d'images. En vision binoculaire, chaque œil aperçoit une image unique et par leur conjugaison ces deux images donnent le relief du sujet représenté. Les yeux devant occuper une position à peu près fixe devant les objectifs composites, on ne pouvait encore obtenir la variation de champ.

Enfin dans une troisième série d'expériences, j'ai pu obtenir sur une plaque de format 9×12 et même 18×24 , une multitude d'images d'un filament de lampe électrique, présentant à l'observation binoculaire, à travers le système optique enregistreur, une image unique, en relief, avec variation de champ, c'est-à-dire possédant tous les caractères d'une photographie intégrale indiqués par Lippmann.

1^{er} essai. — J'ai exposé ici même cette première réalisation, obtenue en 1925 à l'aide d'un objectif que j'ai établi, composé d'environ 95 petites loupes stanhopés. Par son côté extérieur cet objectif rappelle l'œil de certains insectes (sauterelles, libellules, etc.).

Je ne décrirai pas à nouveau cette réalisation et prierai le lecteur de consulter *La Nature*, n° du 26 juin 1926, p. 409 et suivantes.

Cette première réalisation, bien que sommaire, a montré qu'on pouvait obtenir une image unique, à l'aide de petits éléments empruntés à une multitude d'images.

2^e essai : image unique avec relief. — Ne possédant qu'un petit nombre de loupes identiques pouvant donner des images nettes, je les ai disposées en deux blocs distants d'environ 6 cm 2, distance pupillaire moyenne.

À l'aide de ces objectifs particuliers, j'ai photographié un sujet délié (un octaèdre en fil de fer) et après avoir obtenu un couple dont chacune des images est formée d'autant de petites images qu'il y avait de loupes dans chacun des objectifs, j'ai replacé la plaque dans la position exacte par rapport aux objectifs, qu'elle occupait dans le tirage. En observant binoculairement, par transparence, en lumière diffuse, du côté des faces lenticulaires, chaque œil ne perçoit, d'après le résultat du premier essai, qu'une image unique et les deux images stéréoscopiquement conjuguées donnent le relief.

Si cette expérience semble présenter quelques points communs avec la stéréoscopie ordinaire, elle en diffère cependant en ce sens que chaque image du couple est constituée par une multitude d'images du sujet. Chaque œil aperçoit une image synthétique et l'observateur synthétise en une seule ces deux images synthétiques.

Le sujet apparaît alors dans l'espace avec son relief.

C'était là croyons-nous une nouvelle étape vers la photographie intégrale. Mais les yeux devant être à peu près fixes devant ces objectifs A et B, la variation de champ ne pouvait encore être ainsi bien mise en évidence.

3^e essai : image unique avec relief et variation de champ. — Pour que l'expérience précédente fût complète, il aurait fallu constituer un objectif unique composé d'au moins un millier de loupes stanhopés identiques, de façon à couvrir une plaque de format 9×12 . Or il est difficile de se procurer un aussi grand nombre de loupes stanhopés de même distance focale.

C'est alors que poursuivant mon idée, d'après une suggestion de M. Planavergne, préparateur de physique, que j'avais mis au courant de mes recherches, j'ai remplacé les loupes stanhopés par des « sténopés ».

Ainsi le nombre de petites images que l'on pouvait enregistrer n'était plus limité et ne dépendait que du nombre de trous pratiqués dans l'écran sténopéique.

Tout d'abord sur une plaque de format 9×12 j'ai obtenu environ 1200 petites images d'un modèle. Par la suite j'ai pu en obtenir 4800 sur une plaque de format 18×24 .

La figure 1 représente un fragment en grandeur nature de l'écran sténopéique qui a servi à enregistrer les nombreuses images d'un filament de lampe reproduites par la figure 2.

Malheureusement les trous d'aiguille du sténopé laissent passer peu de lumière et j'ai dû prendre comme modèle un sujet lumineux, au lieu d'un objet simplement éclairé : cela est d'autant plus regrettable que ce procédé d'obtenir une photographie intégrale est fort peu coûteux.

Pour la réalisation de cette expérience j'ai tout d'abord percé dans une mince feuille de papier noir, avec le plus de régularité possible, environ 1250 petits trous d'aiguille de même diamètre. Ce travail ne présente aucune difficulté, mais demande une persévérante attention surtout lorsqu'il s'agit de percer 4800 trous devant couvrir une plaque de format 18×24 .

En possession d'un écran sténopéique régulier, j'ai confectionné un châssis spécial représenté par la figure 3 comprenant à son intérieur l'écran sténopéique.

La distance de la plaque photographique, à grain fin, à l'écran sténopé est déterminée par le diamètre des trous et la distance du modèle. Les deux volets A et B du châssis représenté schématiquement par la figure 3 sont mobiles, et on peut pour la mise au point remplacer le volet arrière B par une glace finement dépolie.

Après avoir découvert le châssis, préalablement chargé, devant une lampe à incandescence (filament de carbone) et quelques tâtonnements dans la pose, j'ai pu enregistrer sur une plaque 9×12 environ 1200 petites images du filament représenté par la figure 2.

J'ai ensuite replacé, après développement et fixation, la plaque dans le châssis dans la position exacte, par rapport au sténopé, qu'elle occupait dans le tirage. On enlève le volet avant, et on remplace le volet arrière par la glace dépolie. On éclaire alors la plaque en lumière diffuse. En observant à travers l'écran sténopéique, on perçoit, en vision binoculaire et à toute distance, une

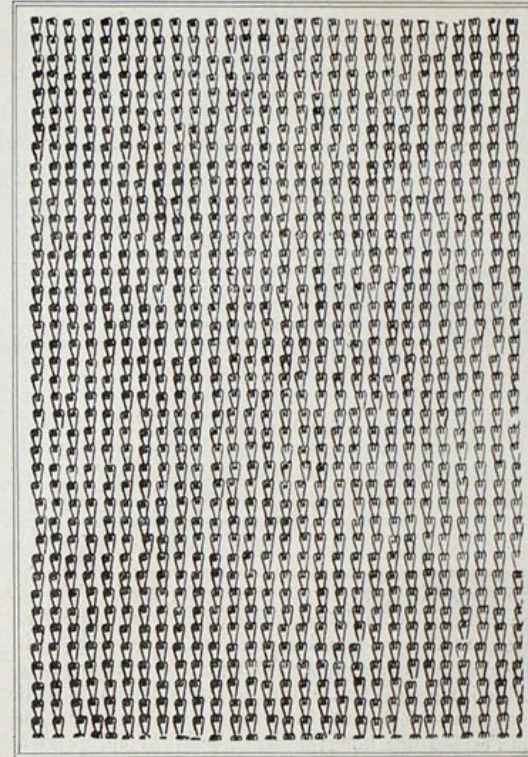
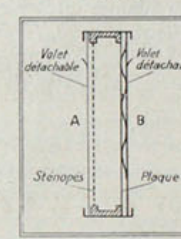


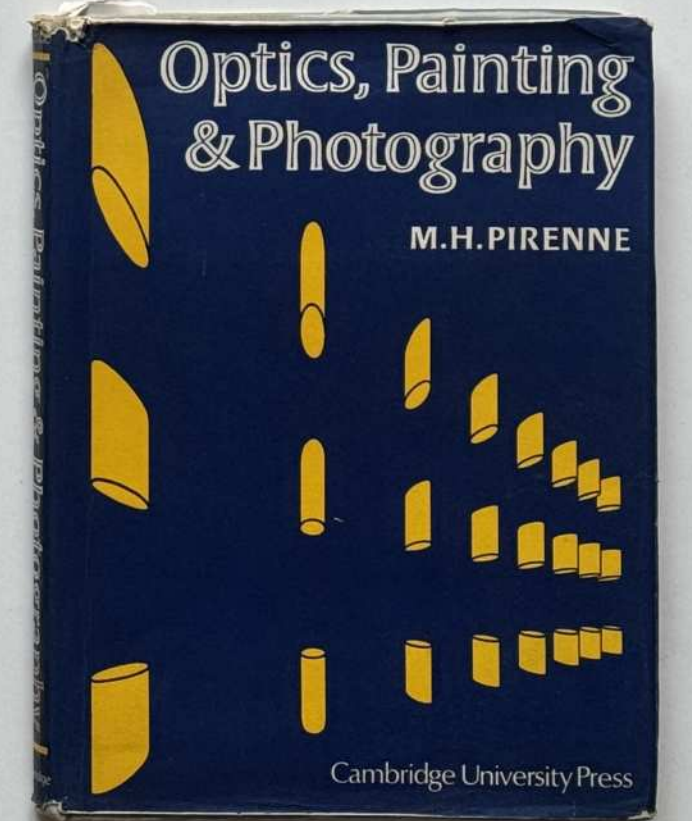
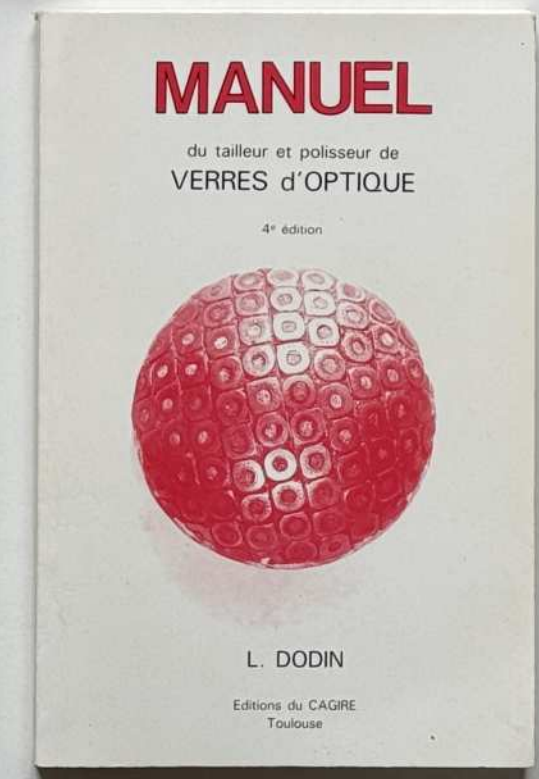
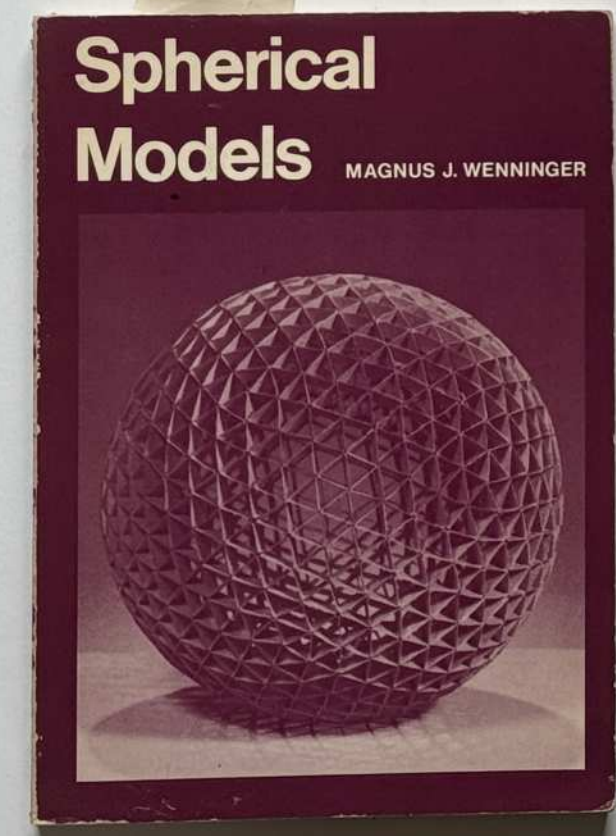
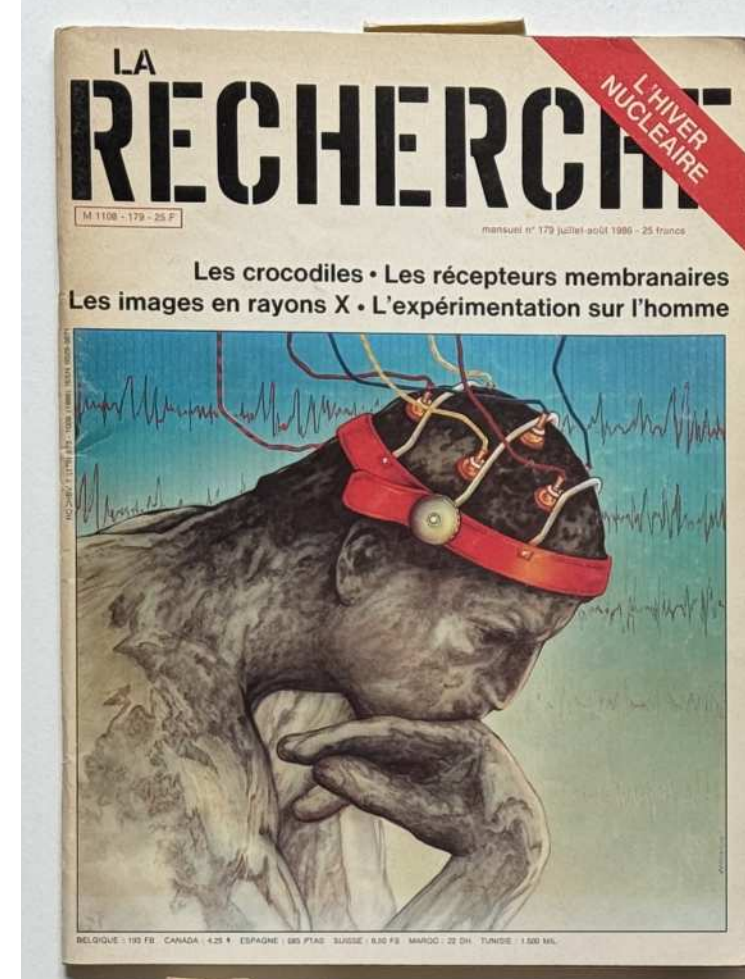
Fig. 2. — Images d'un filament de lampe à incandescence obtenues par sténopé.

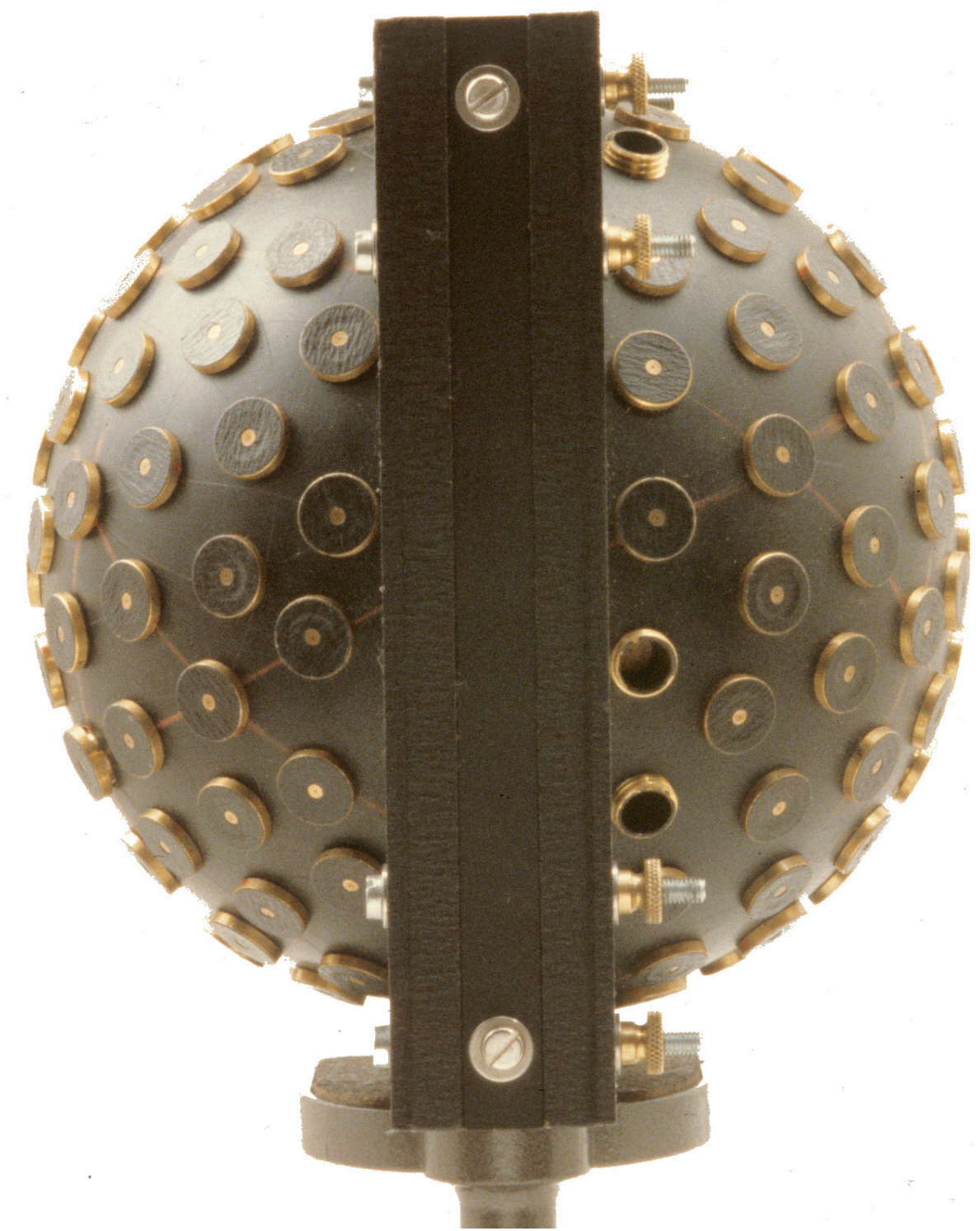
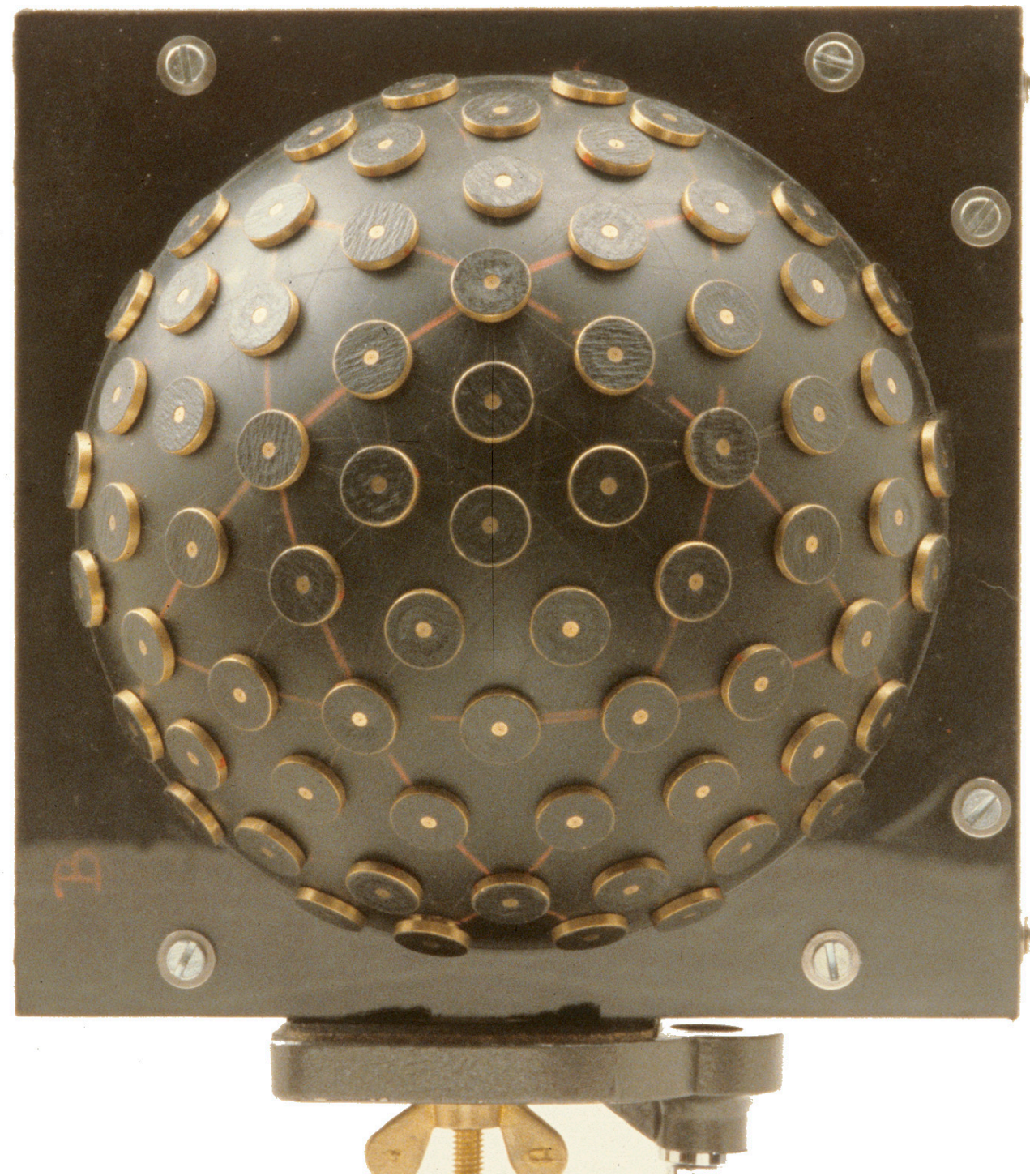
image unique du filament avec son relief, et variation de champ, lorsqu'on se déplace.

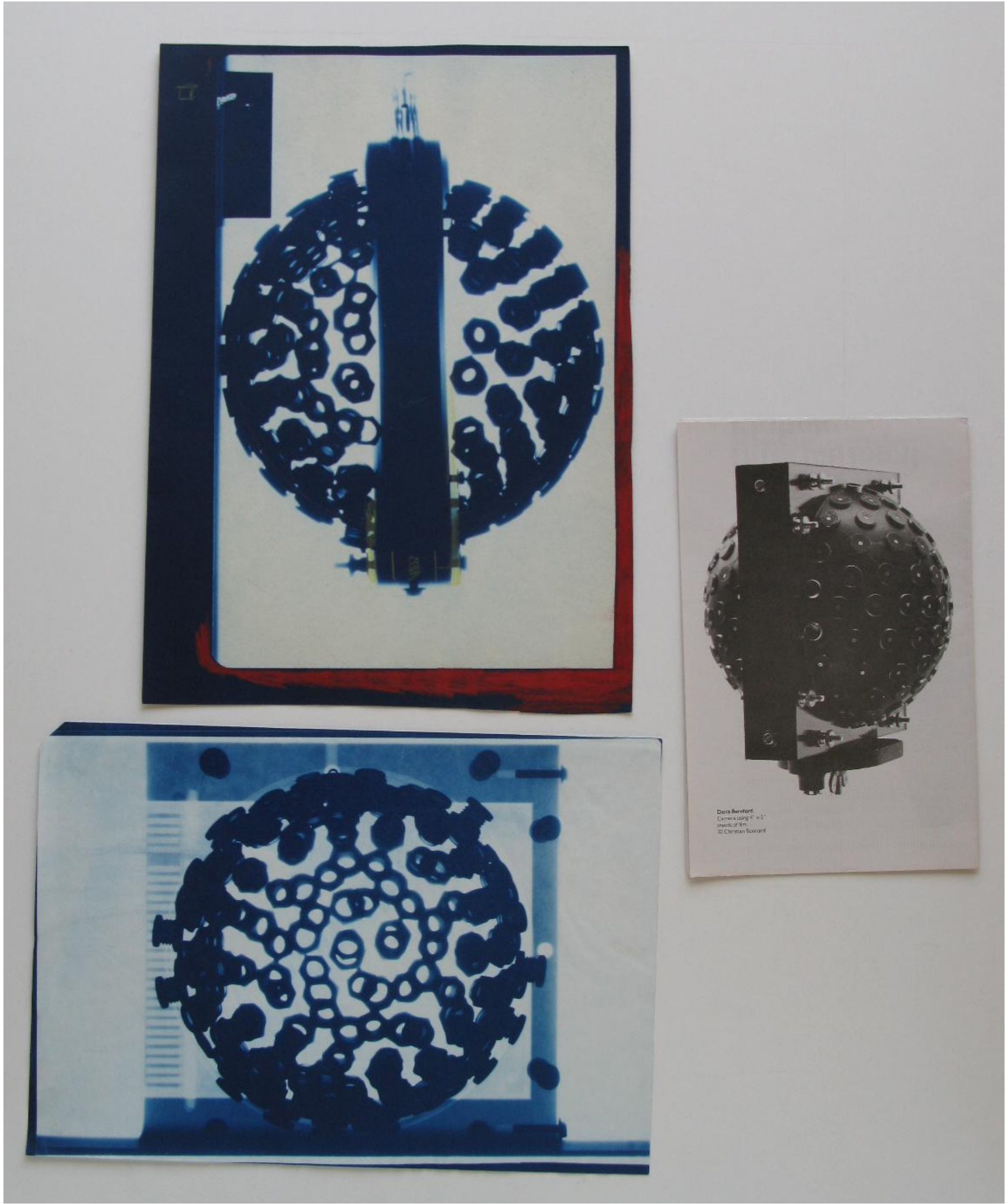
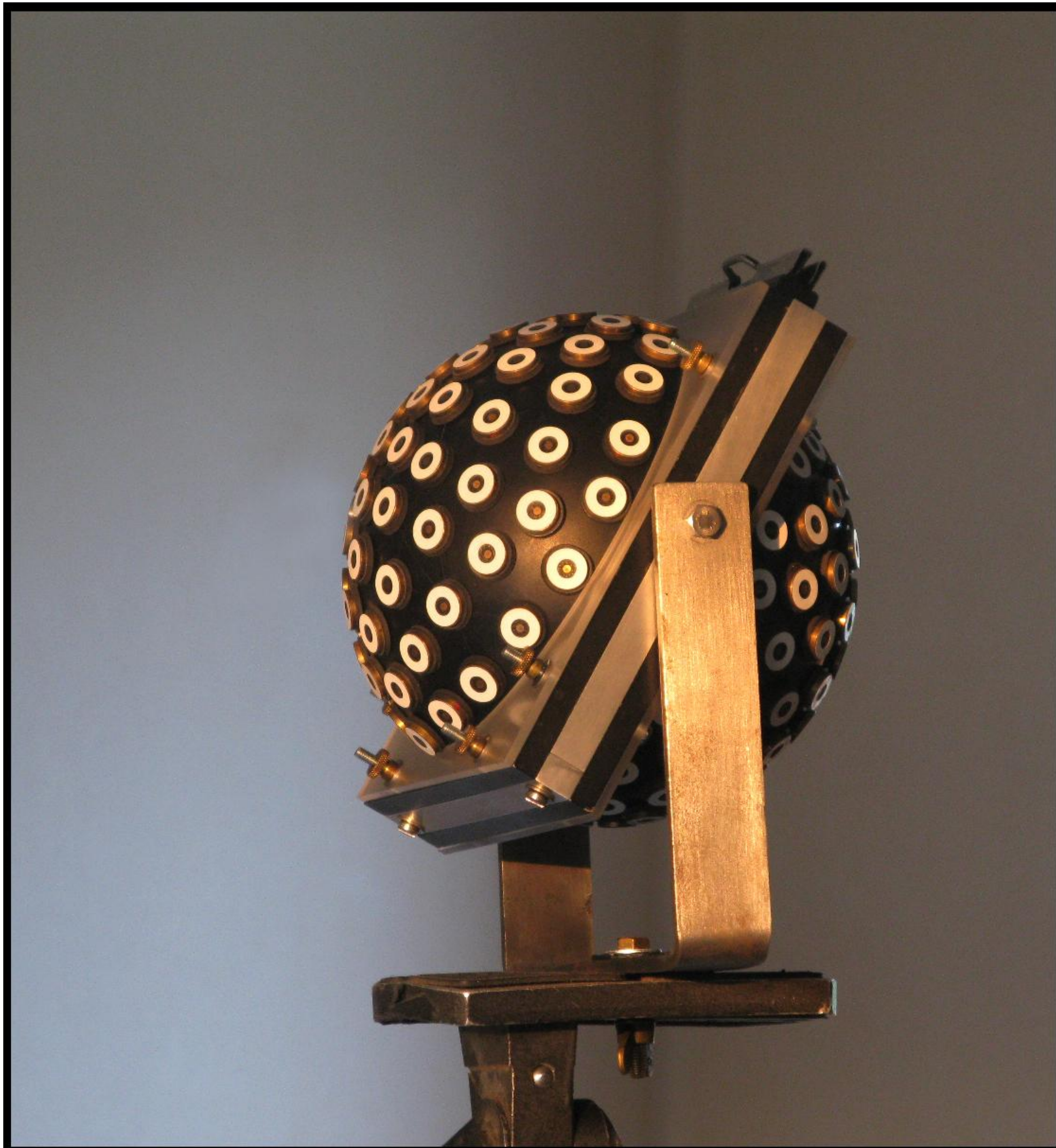
Comme je l'indiquais par ailleurs, chacun des yeux de l'observateur puise dans des trous du sténopé un élément de la petite image enregistrée par ces trous. Ces éléments se raccordent en une mosaïque pour reconstituer l'image synthétique du filament. Ceci se produit pour chacun des yeux de l'observateur. Ces deux images synthétiques sont stéréoscopiquement conjuguées, et le relief apparaît, car les deux conditions fondamentales de la vision stéréoscopique sont satisfaites. En déplaçant la tête, l'observateur perçoit de nouvelles images formant un couple stéréoscopique légèrement différent du premier et ainsi s'explique la variation de champ que l'on constate. En d'autres termes, la photographie intégrale diffère d'une photographie stéréoscopique ordinaire par la constitution même (de brèves et de morceaux) de l'image observée et surtout par ce caractère essentiel qu'elle n'est pas prise d'un point de vue unique. L'aspect sous lequel elle montre le modèle dépend de la position du point de vue de l'observateur.

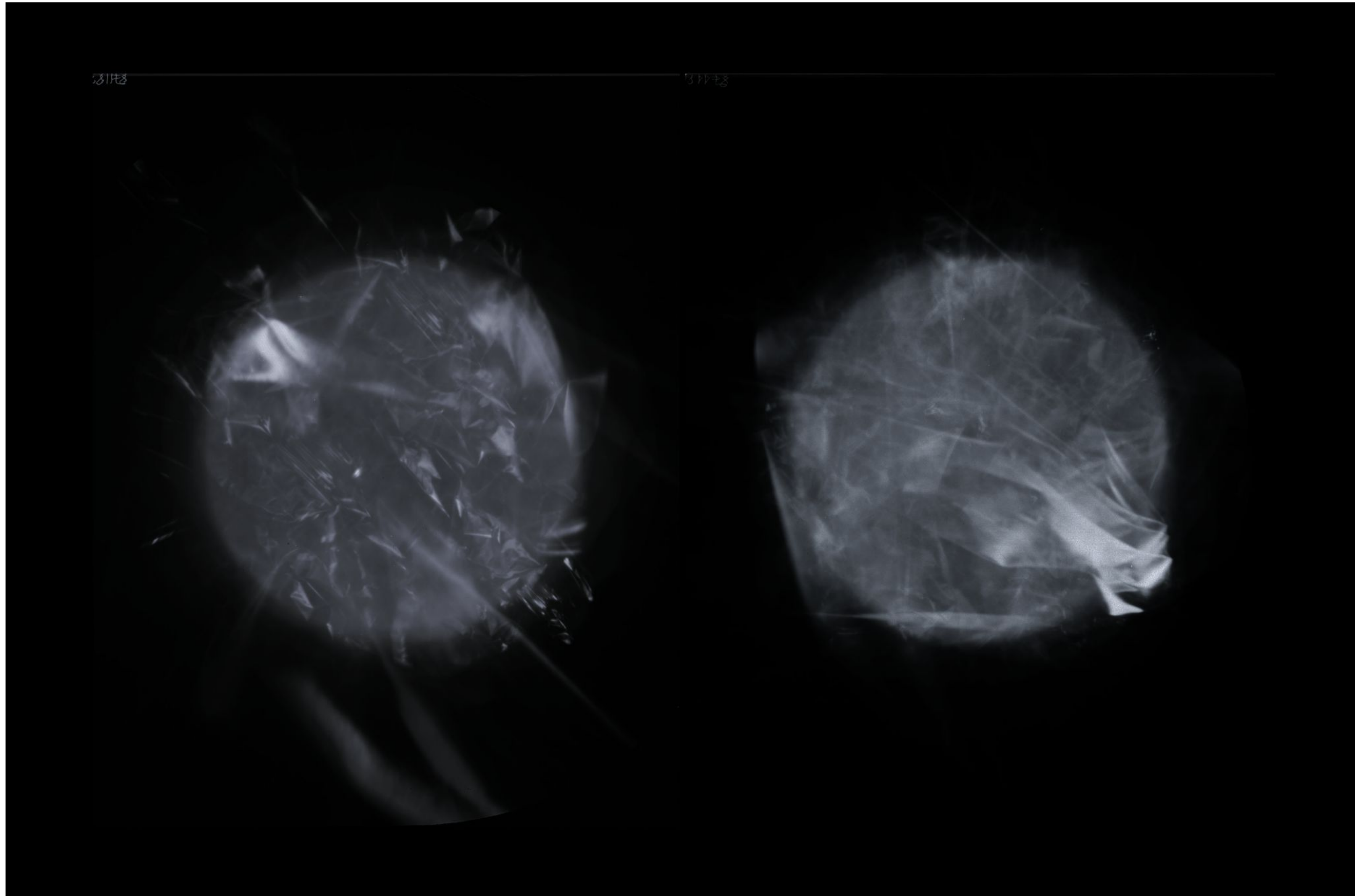
Fig. 3.



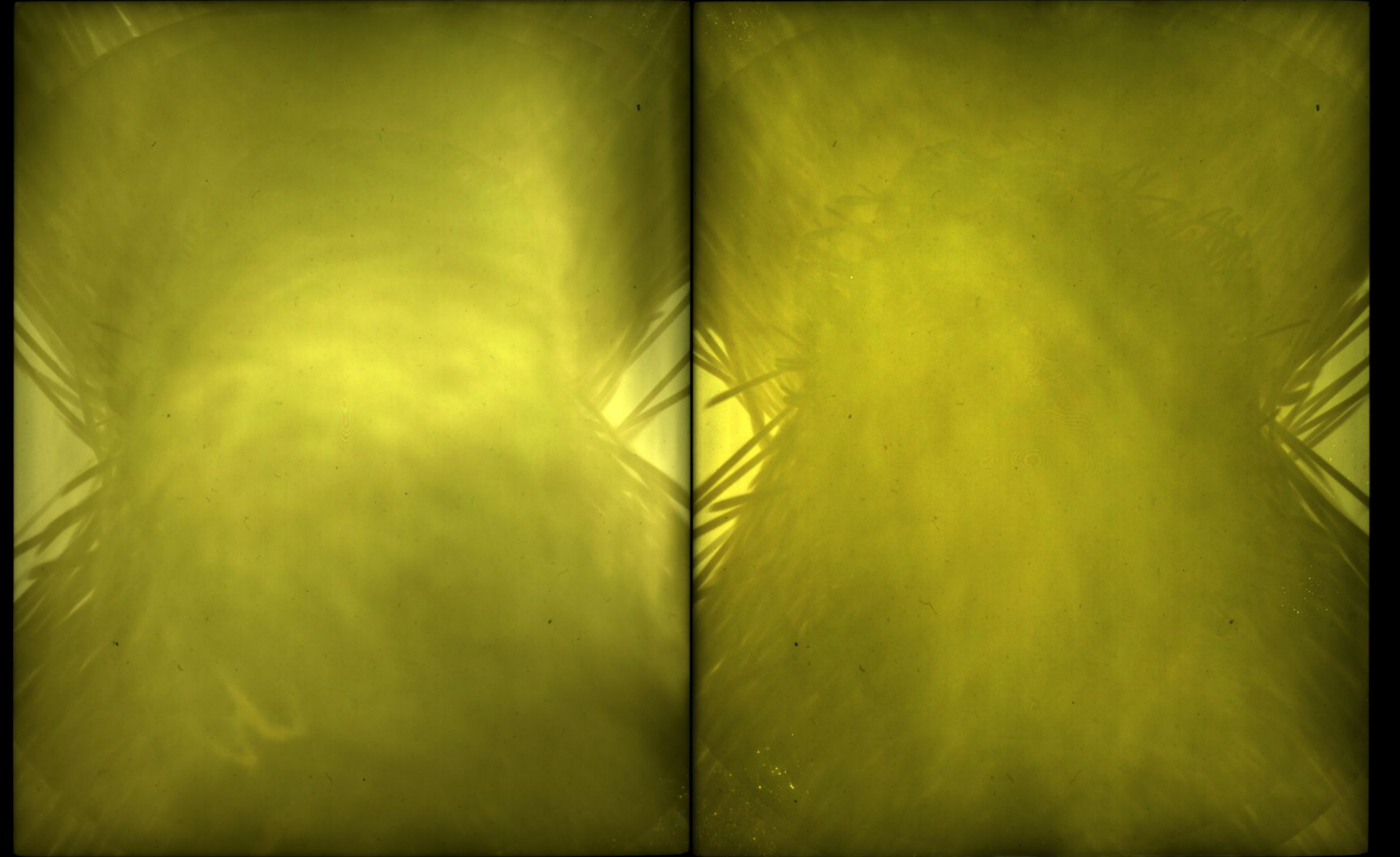


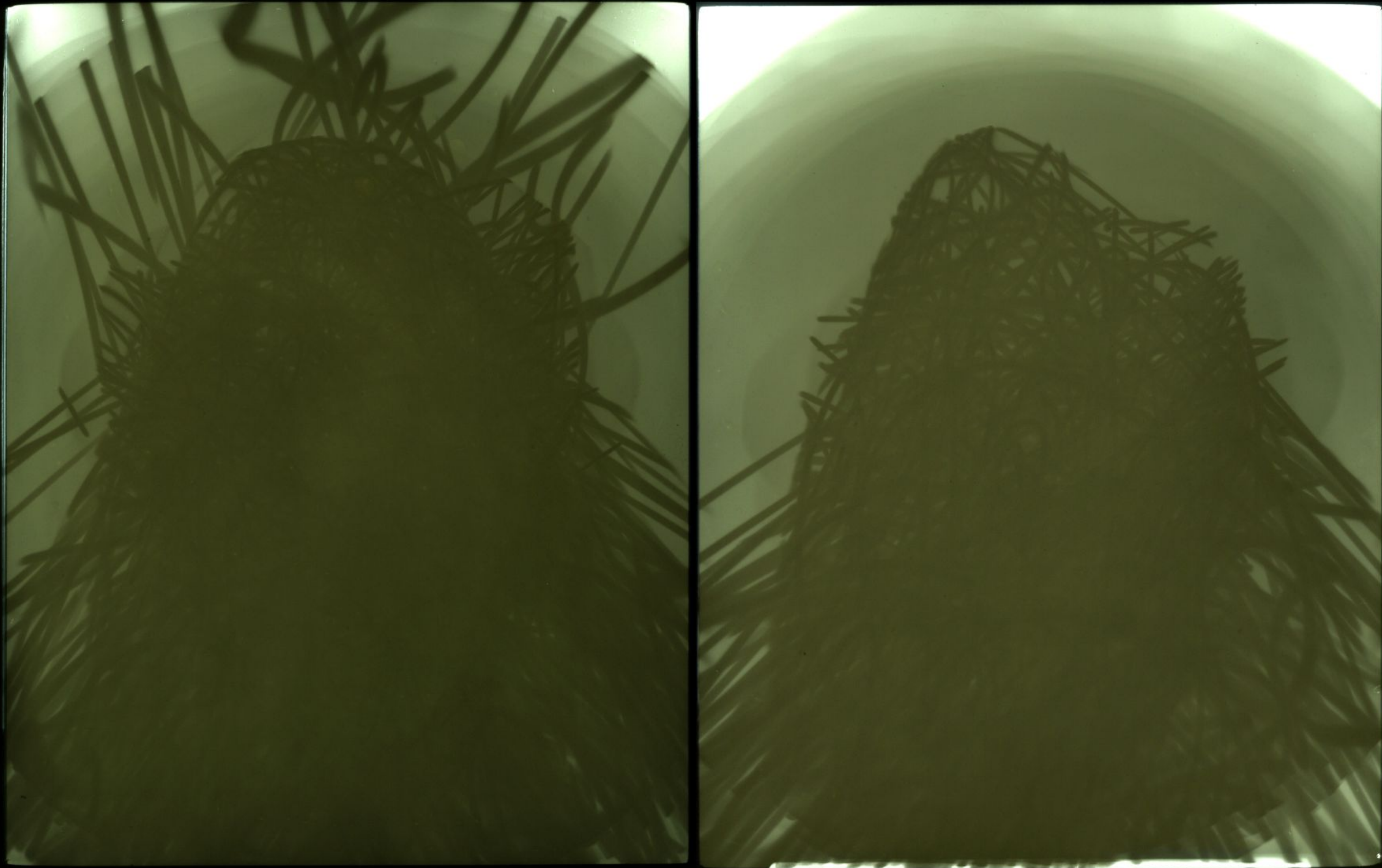












Partie III

L'avenir des sténopés

Expérimentations avec Lucas Sifoni

Des *Zones Plates* sinon rien !

relative sense). Comparing two positive zone plates, we expect the plate with higher m to yield higher resolution but greater scattering; moreover in this comparison we can anticipate that the image of, say, $m = 2(+)$ is the result of a superposition of that by $m = 1(-)$ plus the additional effects of the two outer slits.

Stigliani et al. (26) reached the following quantitative conclusions from their theoretical study of zone plate resolution. Let d be the (outer) diameter of a Fresnel zone plate with n total zones. It is a classical result for a lens that the radius of the diffraction disc of a point source is given by $1.22\lambda f/d$, where f is the focal length and d is the diameter of the lens. Thus the angular resolution of the lens, according to the Rayleigh criterion of resolution of two point sources, is $1.22\lambda f/d$. Stigliani et al. found that zone plate resolving power approaches this value as a limit as n becomes large; that is, for large n , the zone plate has a resolving power equal to that of a lens of the same diameter. When $n \approx 200$ the resolving power of the zone plate is essentially equal to that of the lens, and for $n \geq 50$ it approaches that of the lens very closely.

For a positive zone plate with $n = 3$ ($m = 2$), the diffraction disc radius is $1.39\lambda f/d$, or the resolution is lower than for a lens of equal diameter; as n increases the resolution increases to the limit described above. For a negative zone plate with $n = 2$ ($m = 1$) the angular resolution is $0.89\lambda f/d$; as n increases the resolution approaches the lens limit. Thus we find the curious result that the resolution of a negative zone plate with small n is better than that of a lens of equal diameter. However, the calculated intensity of the secondary maximum (at $f/3$) for a positive zone plate is very small, whereas that for a negative plate is relatively large (26). This constitutes the obstacle to the use of a negative plate to achieve high resolution.

Baez (9) studied the resolving power of a lens, pinhole, and zone plate having comparable parameters (that is, similar outer diameters for the lens and zone plate, and similar r_1 values for the zone plate and pinhole). He found that the zone plate had a resolving power about the same as the lens, and much better than the pinhole. This zone plate had $m = 19$. He also showed that the resolution improves as the wavelength is decreased, in agreement with theory.

3. Aberrations. Because of the relationship $f = r_n^2/n\lambda$, the zone plate is subject to marked chromatic aberration. This dependence of f on λ has been verified experimentally (13). The following development is similar to that given by Young (3). The zone plate condition for monochromatic light is $g_n - f = n\lambda/2$ (Eq. 1). If the zone plate designed according to this criterion is used with light of another wavelength λ' , there will be no significant deterioration in the image at focal length f , according to Rayleigh's quarter-wavelength condition, until the relationship

$$g_n - f = n\lambda'/2 \pm \lambda/4$$

is exceeded. This means that

$$n\lambda/2 = n\lambda'/2 \pm \lambda/4$$

or

$$\Delta\lambda = \pm \lambda/2n$$

where $\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$. $2\Delta\lambda$ is the wavelength range over which the zone plate can be used as an imaging device (at focal length f) without significant chromatic aberration. Note that chromatic aberration becomes worse as the total number of zones increases. For visible light, with $\lambda = 500$ nm, when $n = 1$, $2\Delta\lambda = 500$ nm; thus the pinhole camera is not subject to serious

chromatic aberration. When n exceeds about 5 we can expect chromatic aberration to become significant (27). The extreme chromaticity of zone plates at high n has prompted some workers to use these devices as dispersing elements in optical systems (24).

Young (3) finds that the zone plate (like the pinhole) forms an image without distortion. It is, however, subject to coma, astigmatism, and field curvature. Off-axis aberrations become most severe as n becomes larger.

Experimental

1. Zone Plate Construction. Drawings were made in ink on heavy paper, the radii of consecutive circles being in the ratio of the square roots of the integers, according to Eq. (4). Alternate zones were filled in with black. Six master drawings were prepared so to yield six zone plates with the parameters $m = 1, 2$, or 10 , each of the positive and negative type. Table II shows the $m = 1$ and $m = 2$ drawings, and Fig. 3 shows the $m = 10$ drawings.

Table II. Zone Plate Drawings

n	m	Sign*	Drawing
1	1	+	●
2	1	-	○
3	2	+	●
4	2	-	○

*Of the final zone plate, which is the negative image of the drawing.

The drawings were reduced in stages, the final zone plates being made on Kodalith ortho film, type 3, with development in Kodalith Fine Line developer. Fig. 4 is a photomicrograph of the $m = 10(+)$ zone plate made in this way. For the $m = 1$ and $m = 2$ plates, $r_1 = 0.028''$; for the $m = 10$ plates, $r_1 = 0.027''$. The zone plates were mounted on lens boards or in a mechanical shutter.

2. Resolving Power Measurements. Resolving power (RP) was measured with the method of Washer and Gardner (28). Eqs. (10-12) are applicable; the value $M = 2$ was selected, hence $U = 2F$. RP was measured as a function of F . The resolving power in line per mm is determined from the test chart by the formula $RP = (M/25)N$, where N is the number on the chart associated with the resolved pattern. Therefore $M/25 = 0.08$ for these studies. Since the highest resolution on the printed chart is 80 lines/mm, this means that $RP = 6.4$ lines/mm is the upper limit that can be measured by the procedure as described. Tungsten illumination was used. Exposures were on 4×5 Tri-X, developed in HC-110. The negatives were examined on a light table with an 8X magnifier.

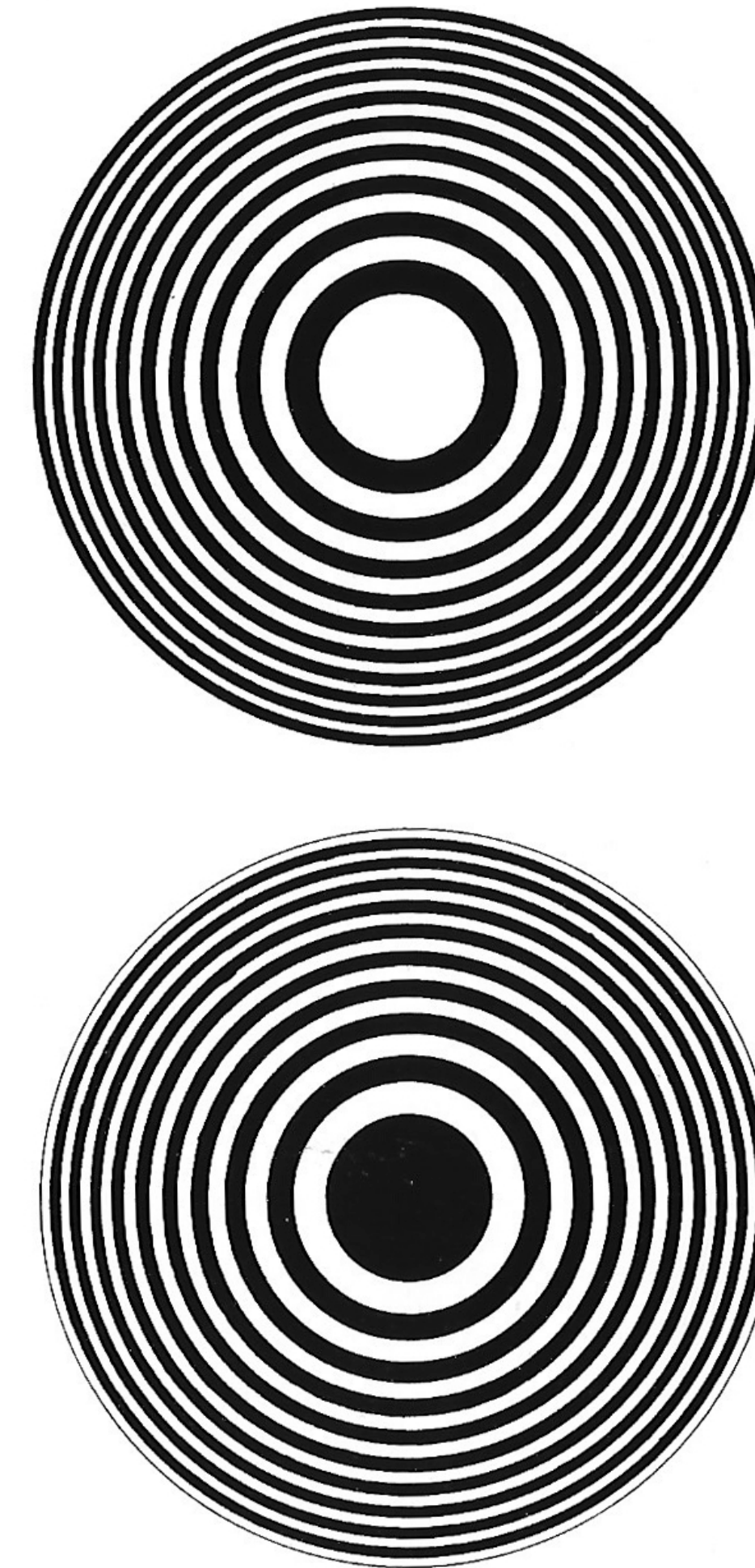


Fig. 3. Zone plate drawings ($m = 10$).

Concepteur de ZonePlate & Megapinhole

Type d'ouverture

MegaPinhole

Focale souhaitée (25-250), en mm

250

Pour le Megapinhole, coefficient de multiplication du nombre de points

31

Pour le Megapinhole, en 10ièmes, taille de point (1-10)

9

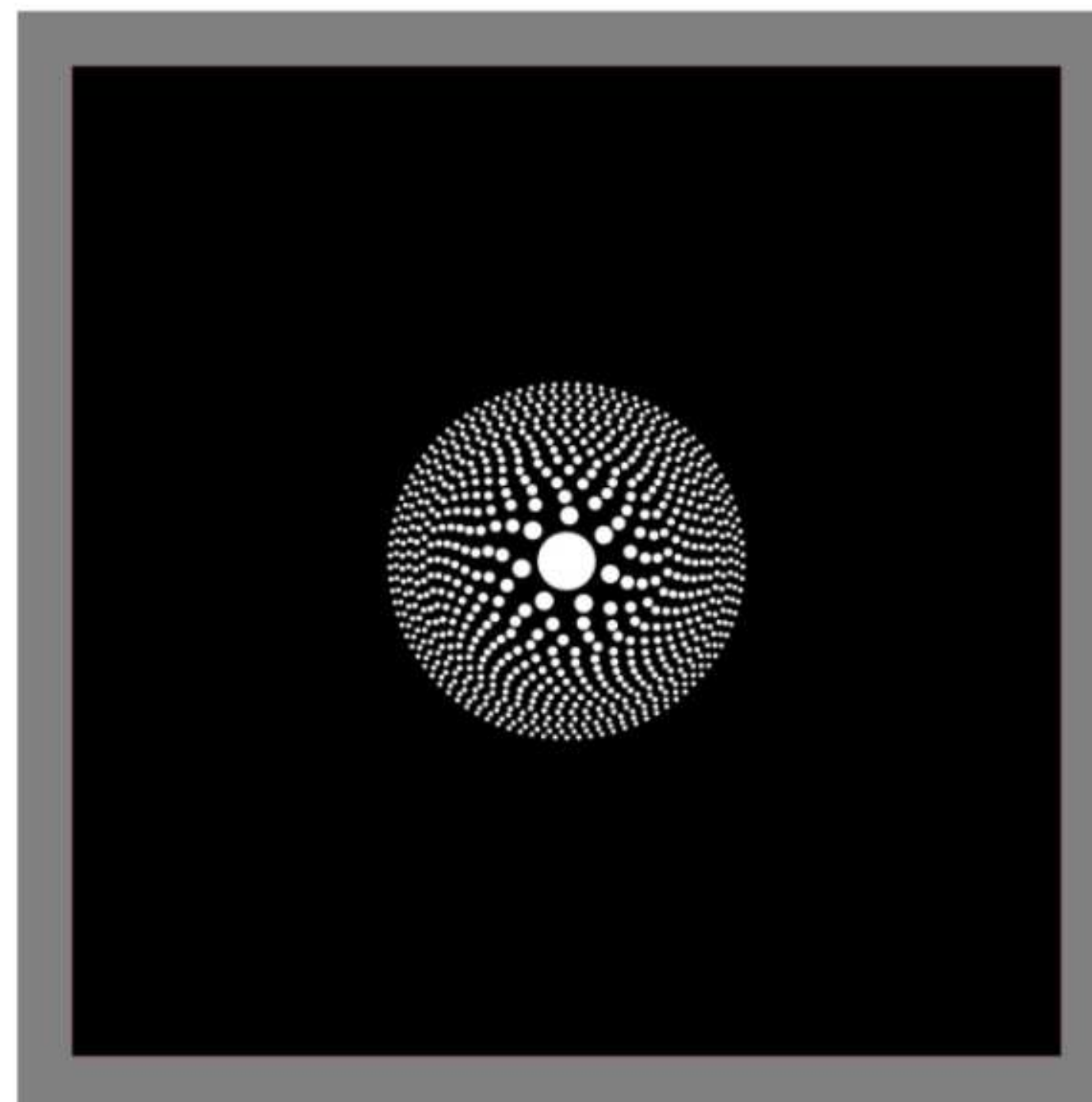
Pour le Megapinhole, point de départ aléatoire

Nombre de zones (minimum 5)

15

Longueur d'onde (en nanomètres, 400-800)

550



Le rectangle rouge représente 36*36mm sur le fichier final.

Télécharger



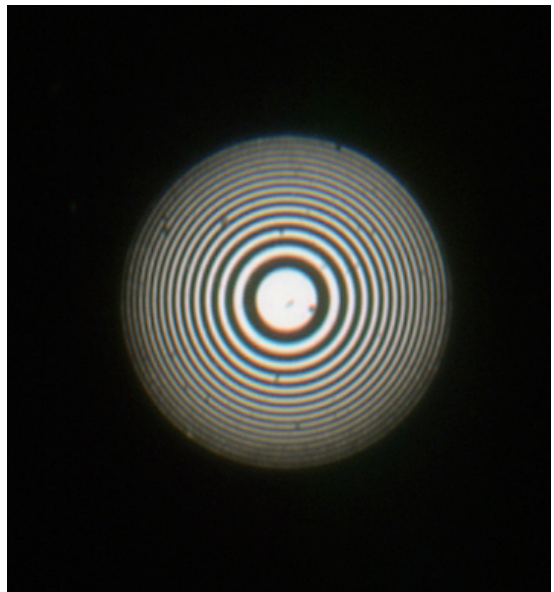
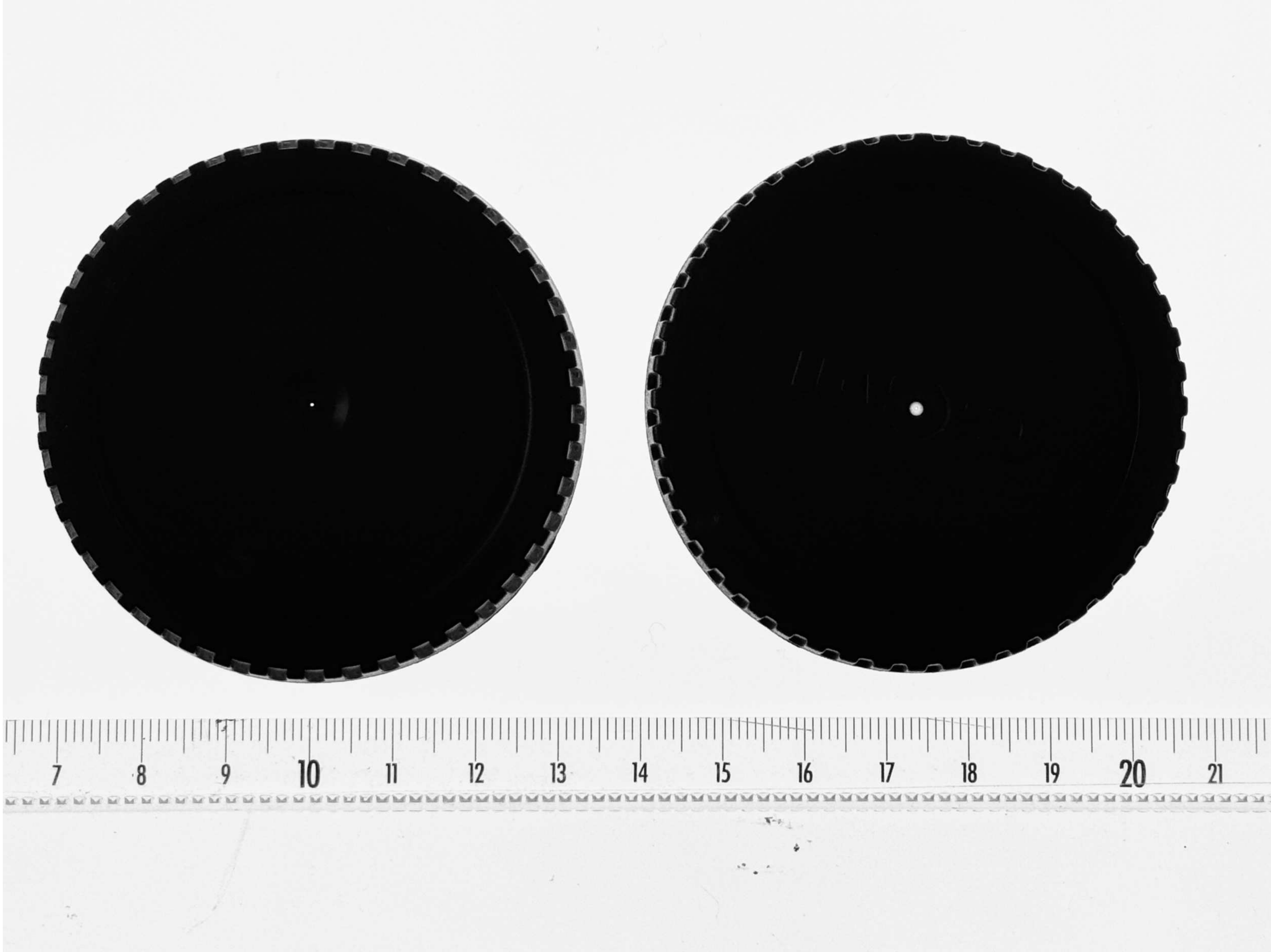
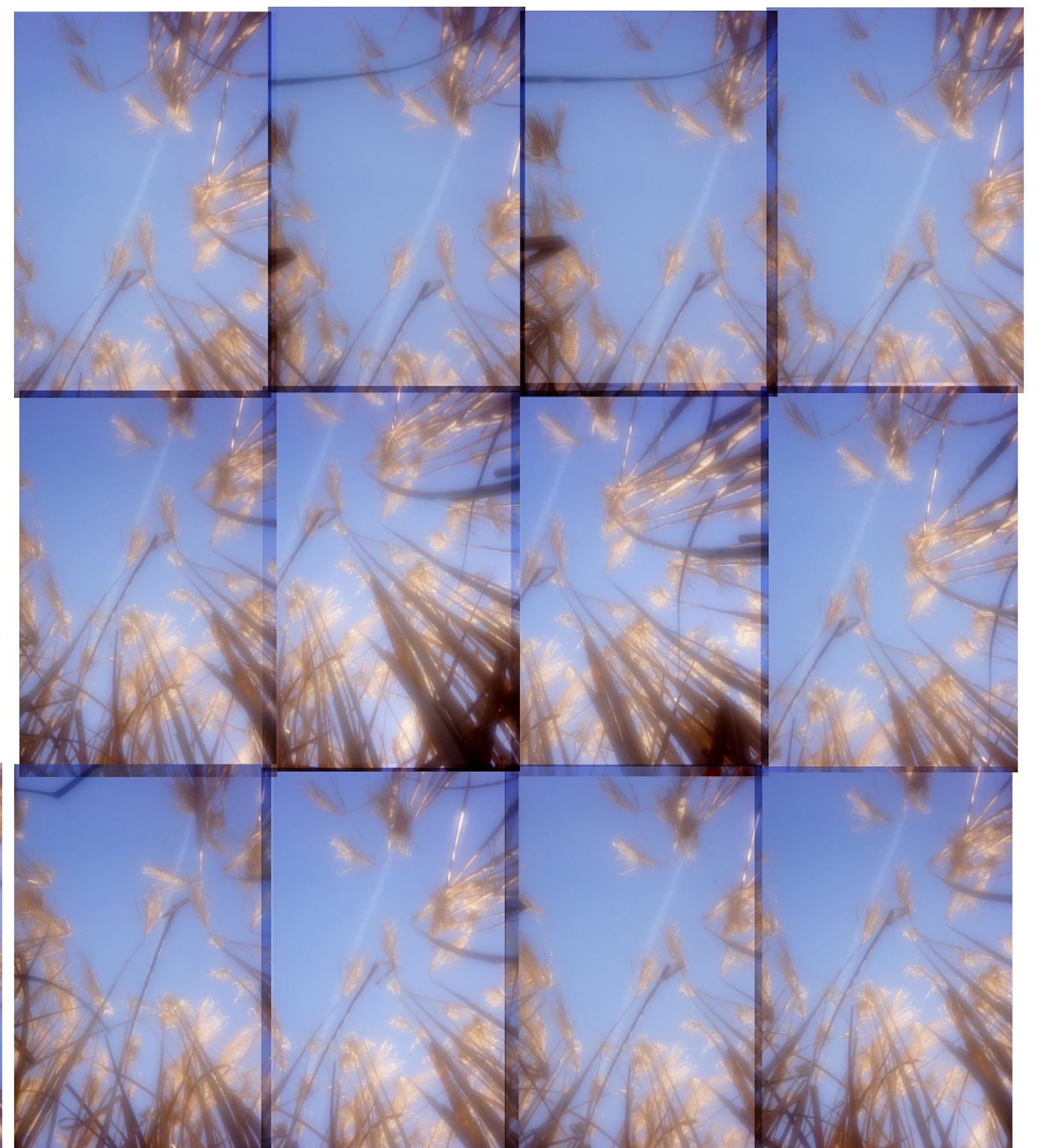
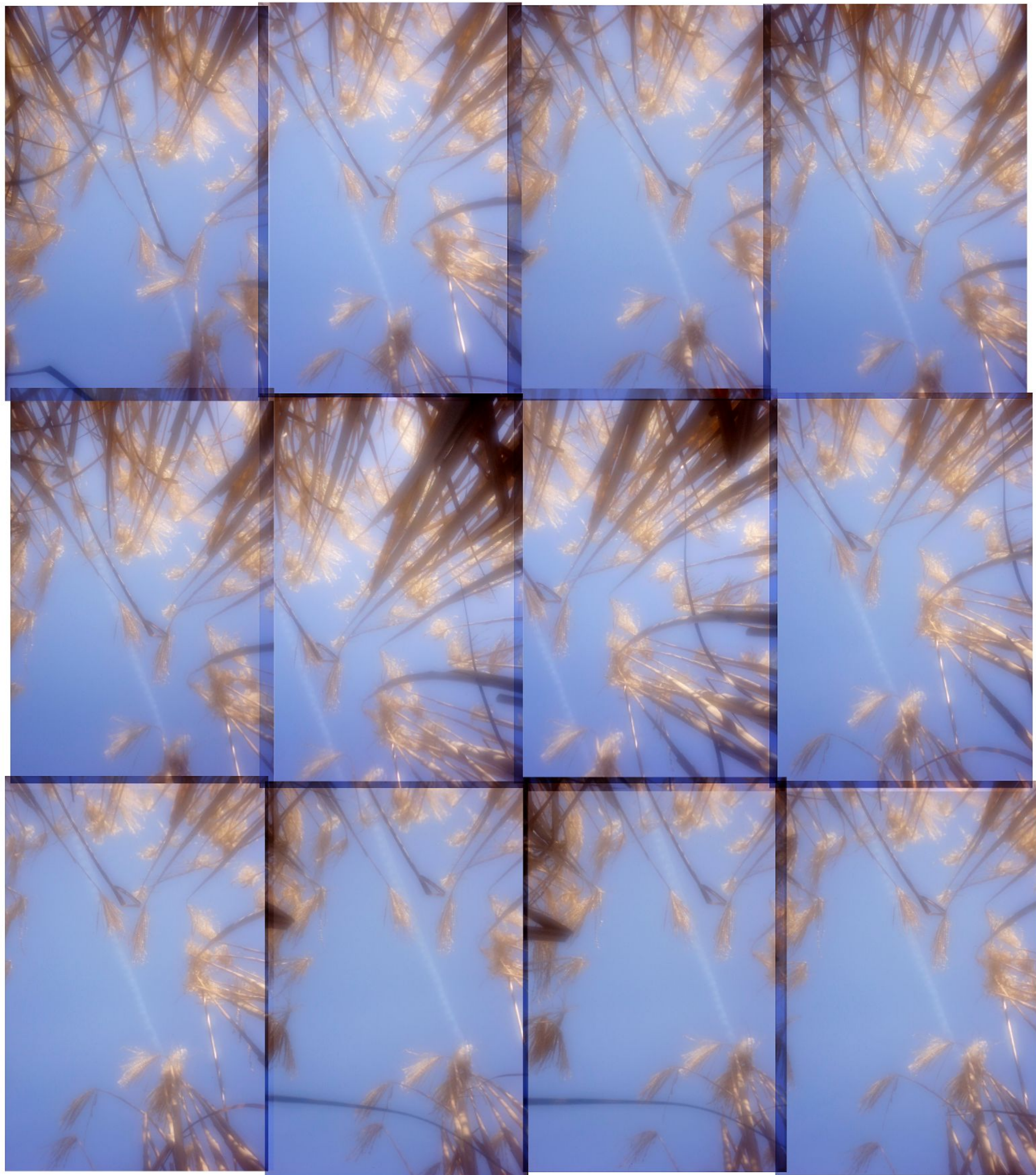


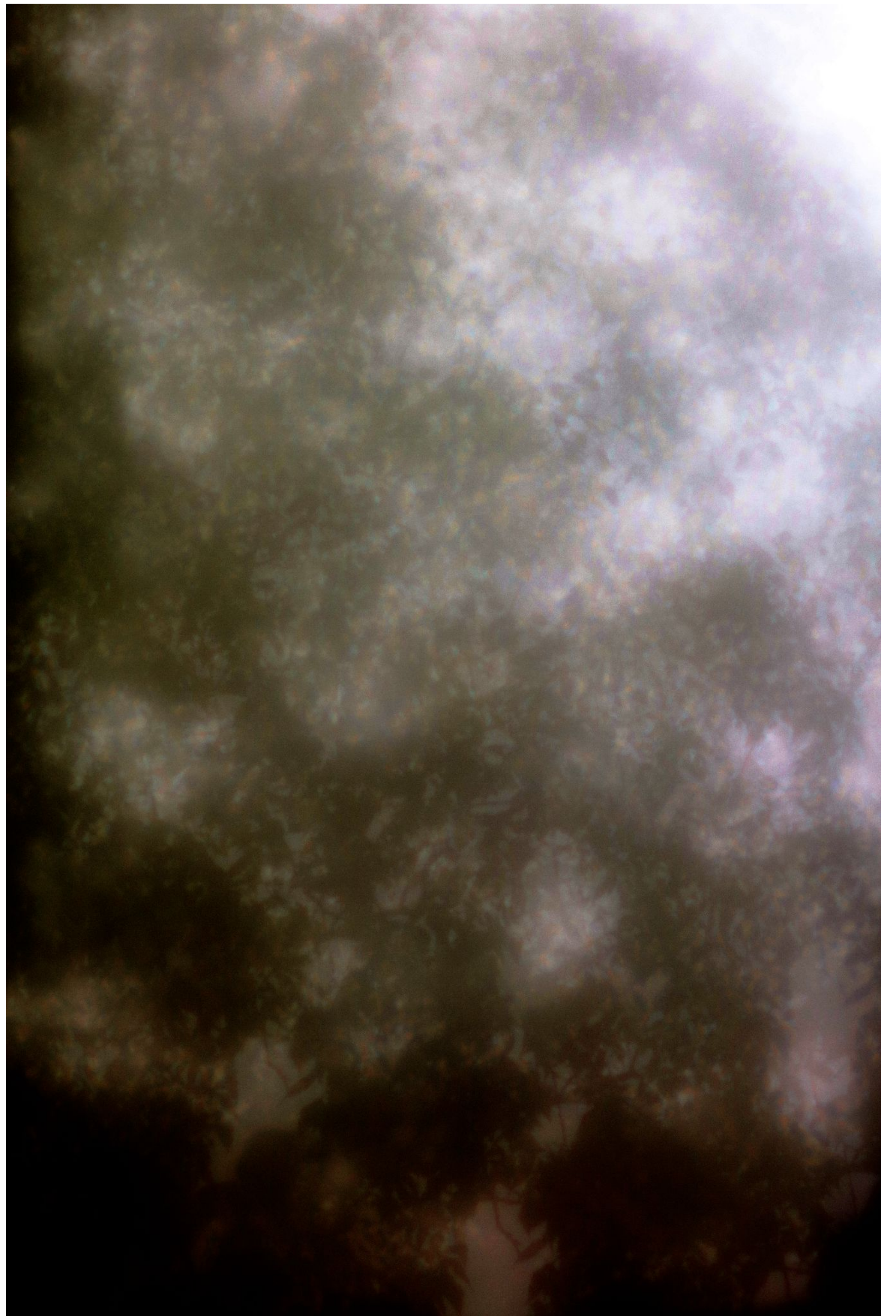
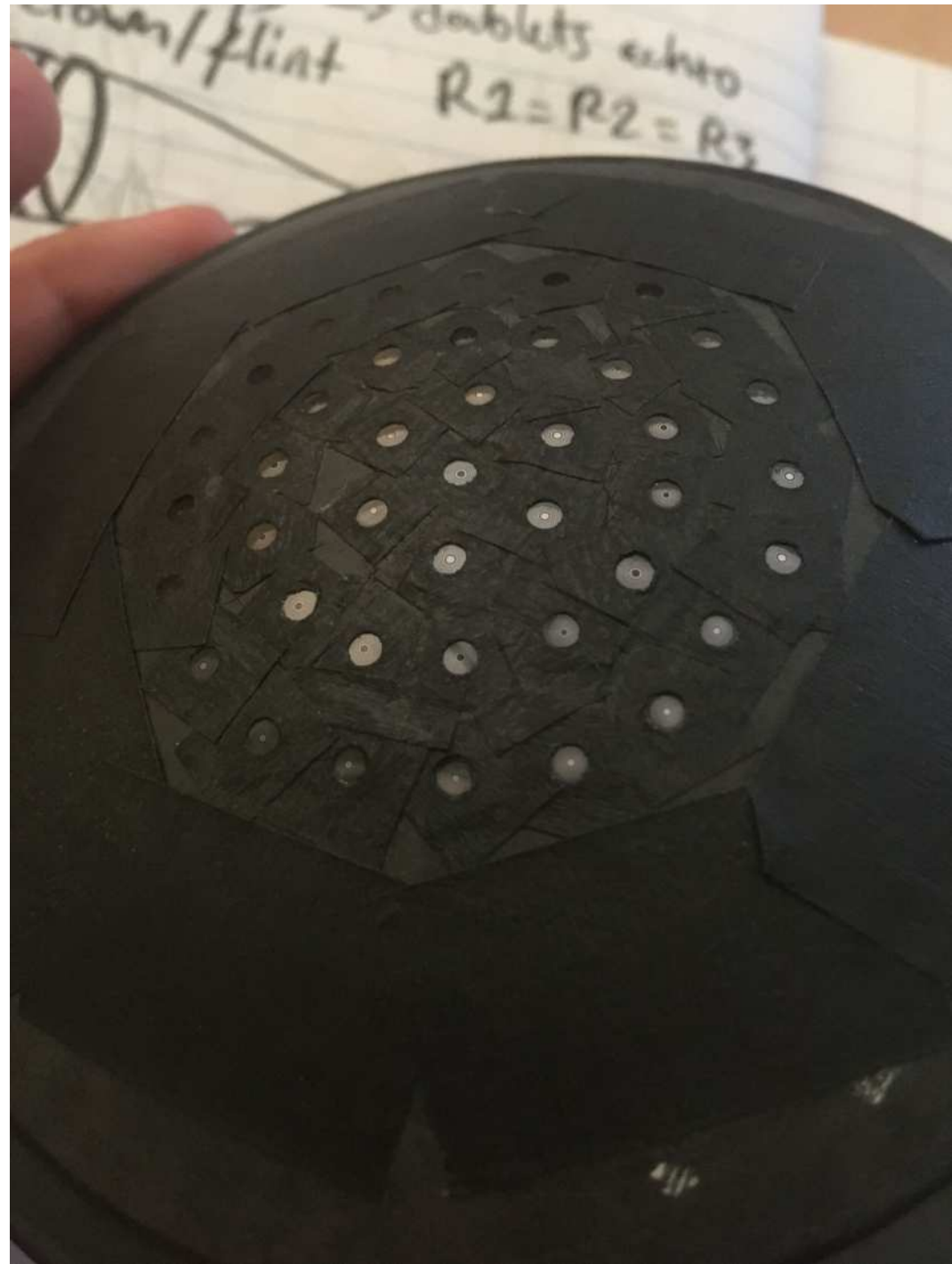
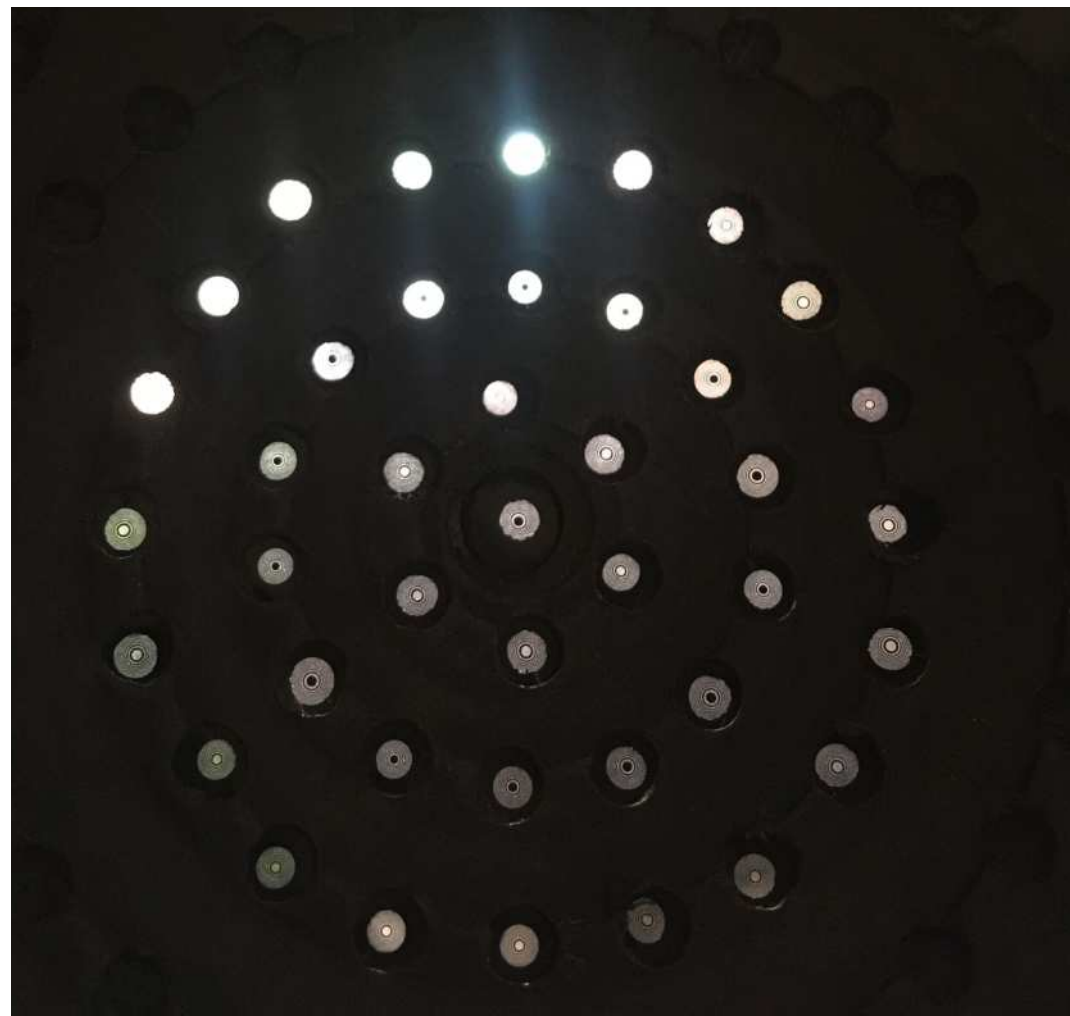


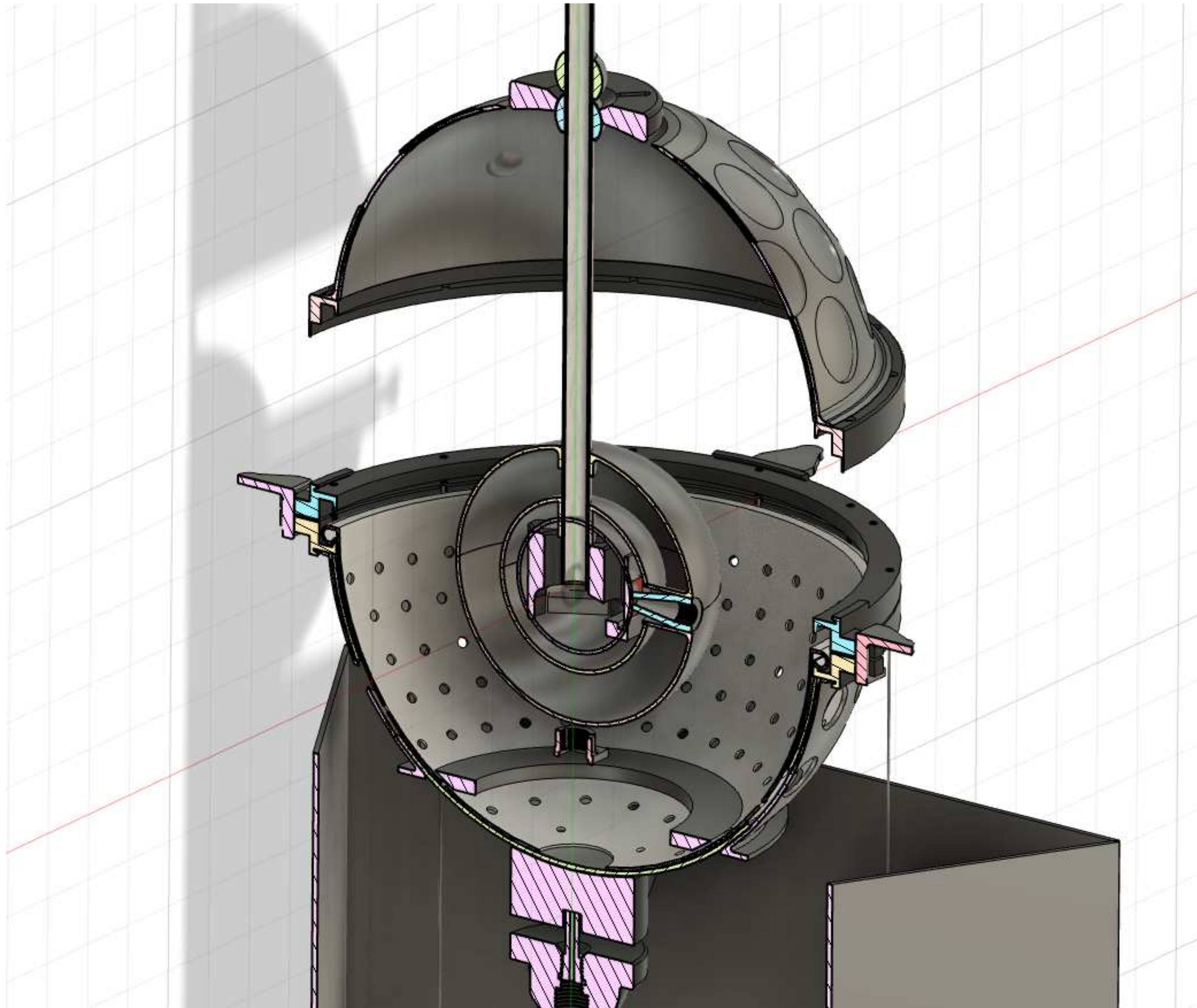
Fig. 8. Zone plate photograph made with a positive Fresnel zone plate, $d_1 = 0.027$ inch, $F = 8.25$ inch, $m = 10$, exposure time about $1/2$ sec.



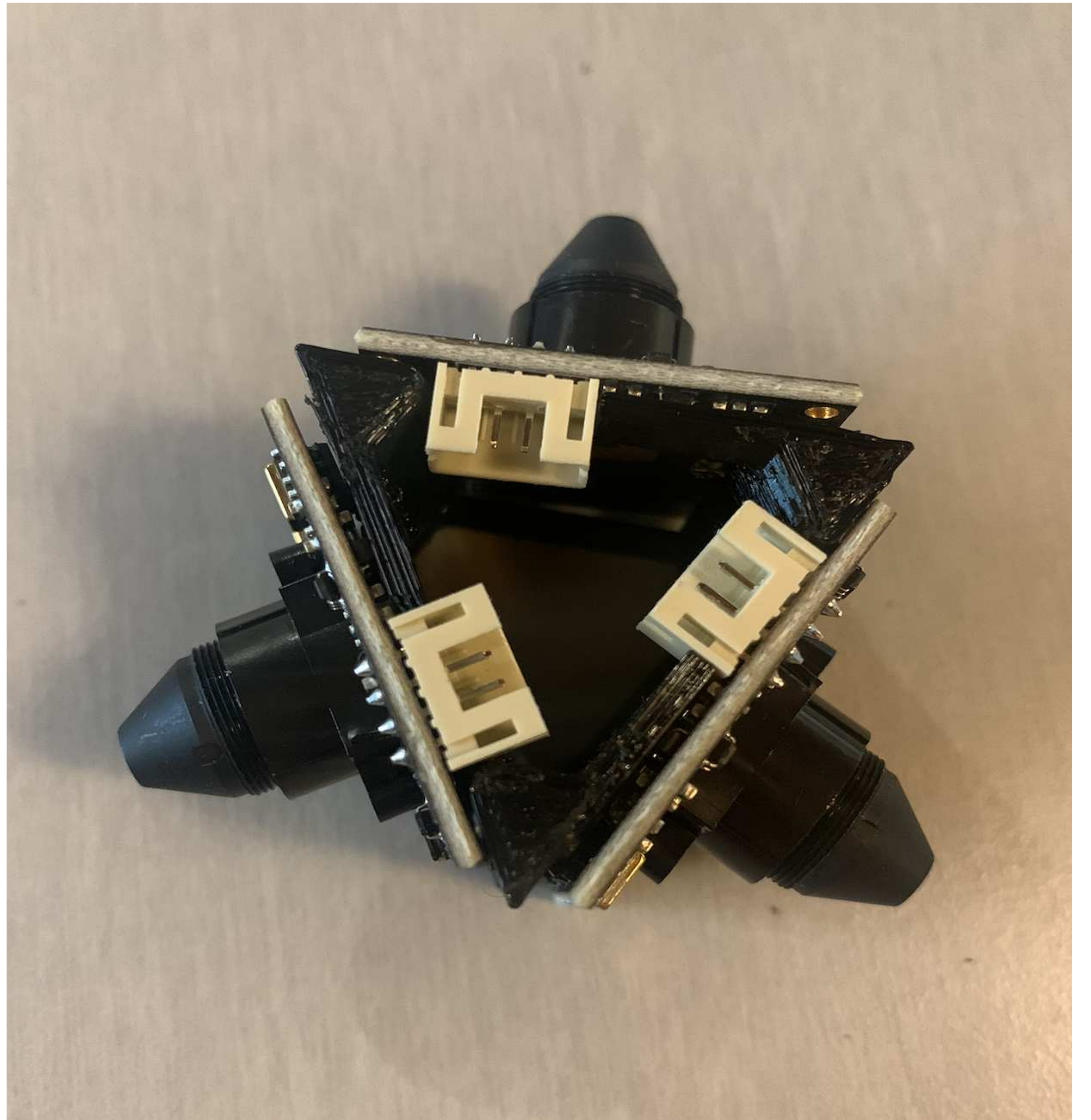
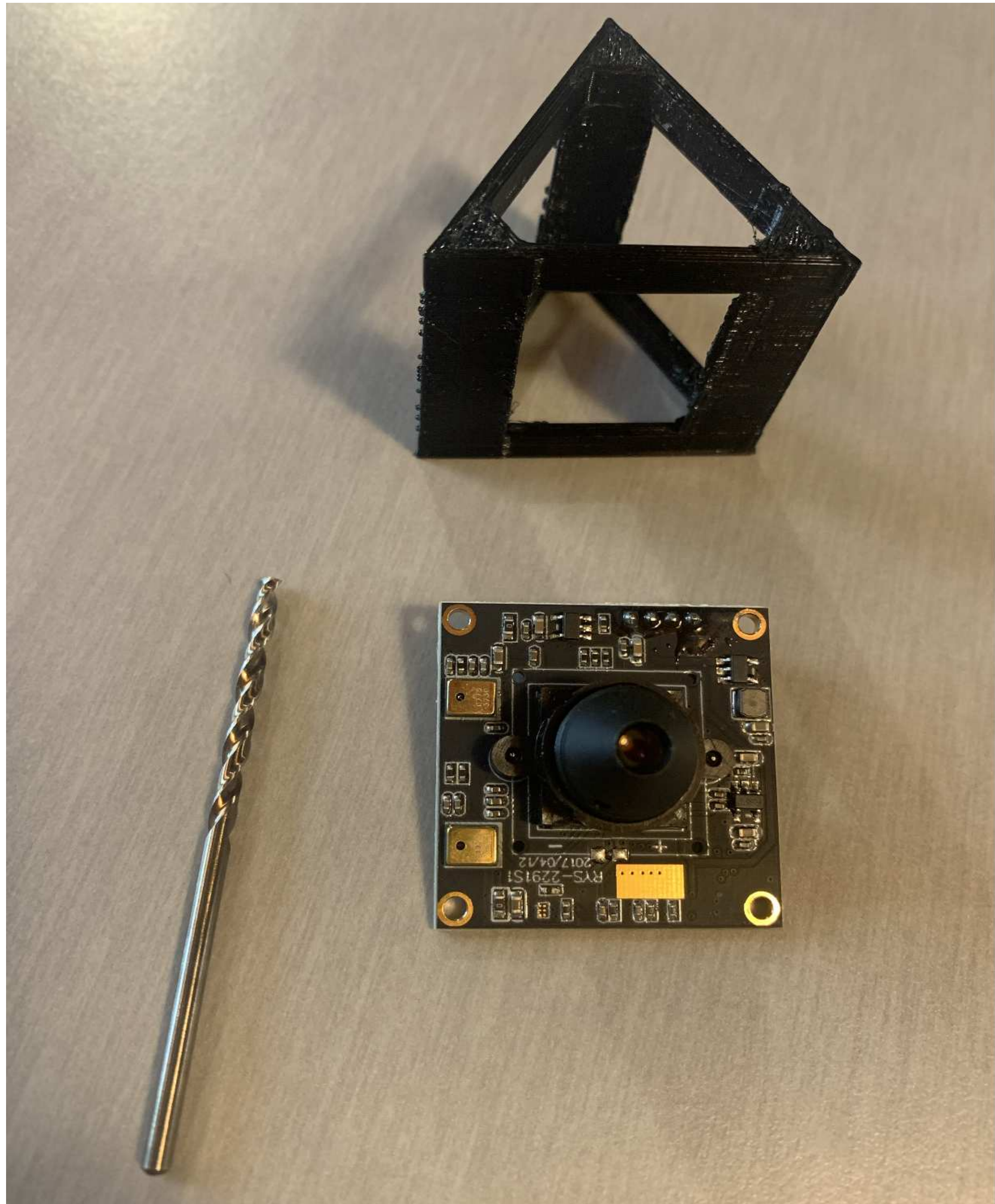
Fig. 9. Pinhole photograph, $d = 0.025$ inch, $F = 8.25$ inch, exposure time 15 sec.

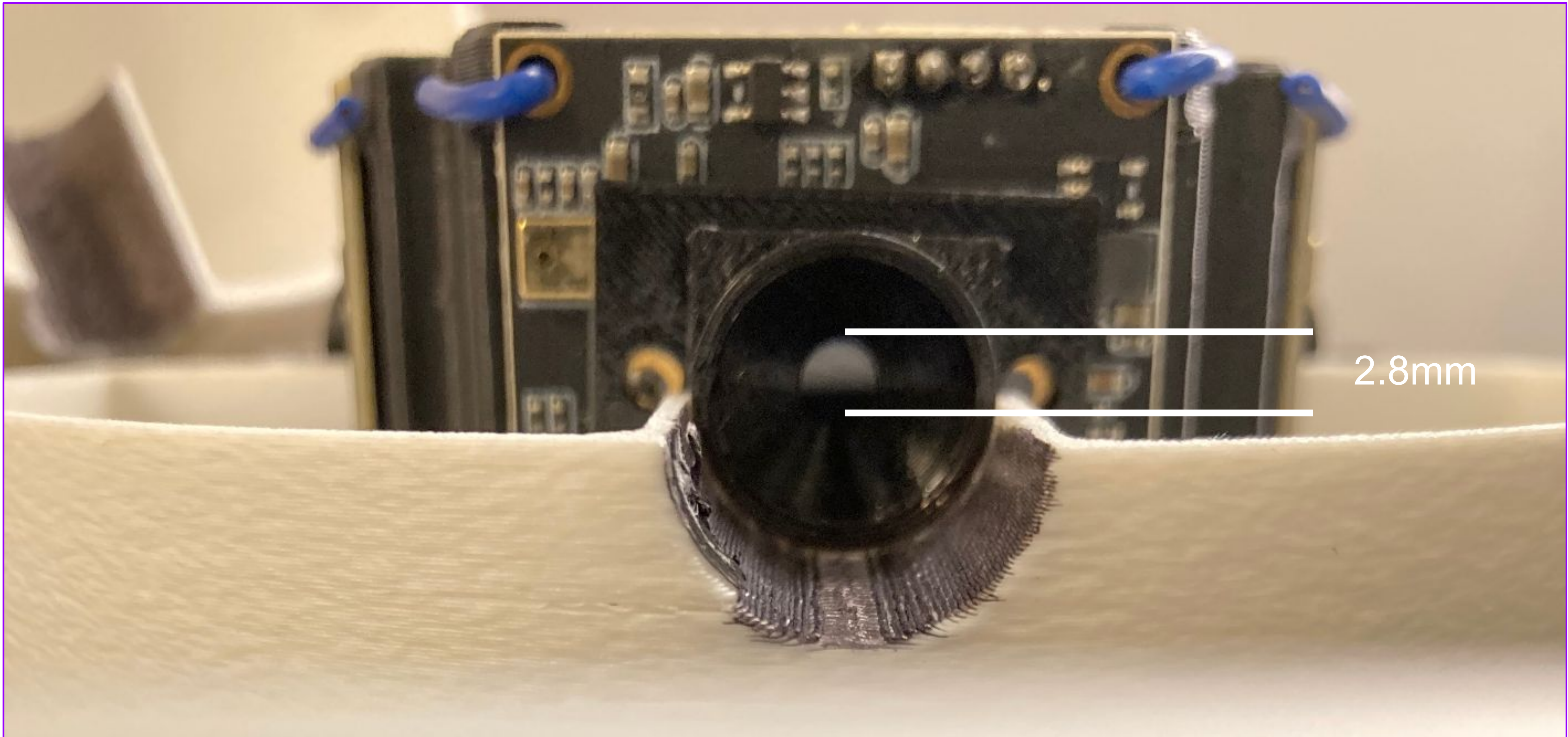


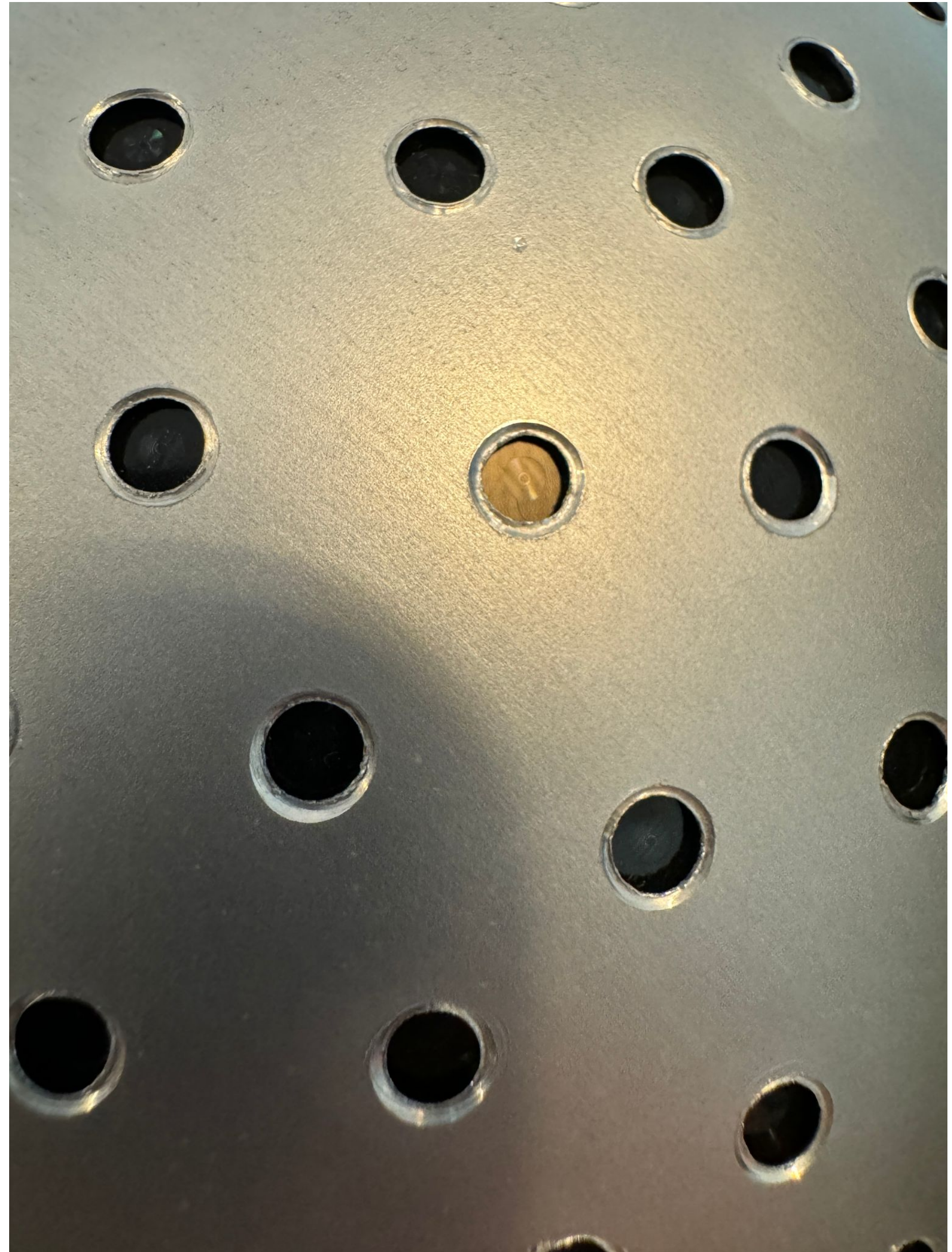
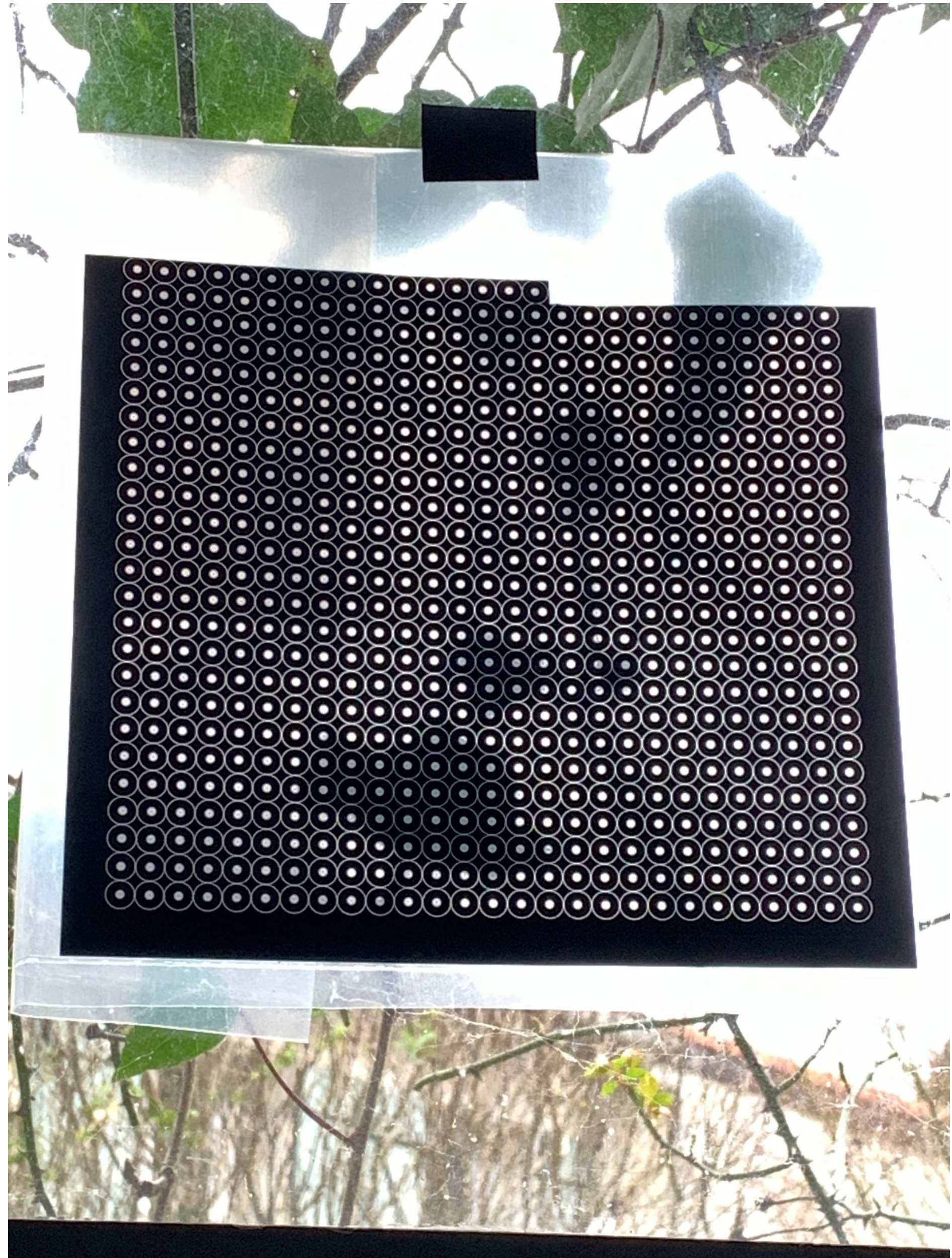




CAO, © Lucas Sifoni, 2025



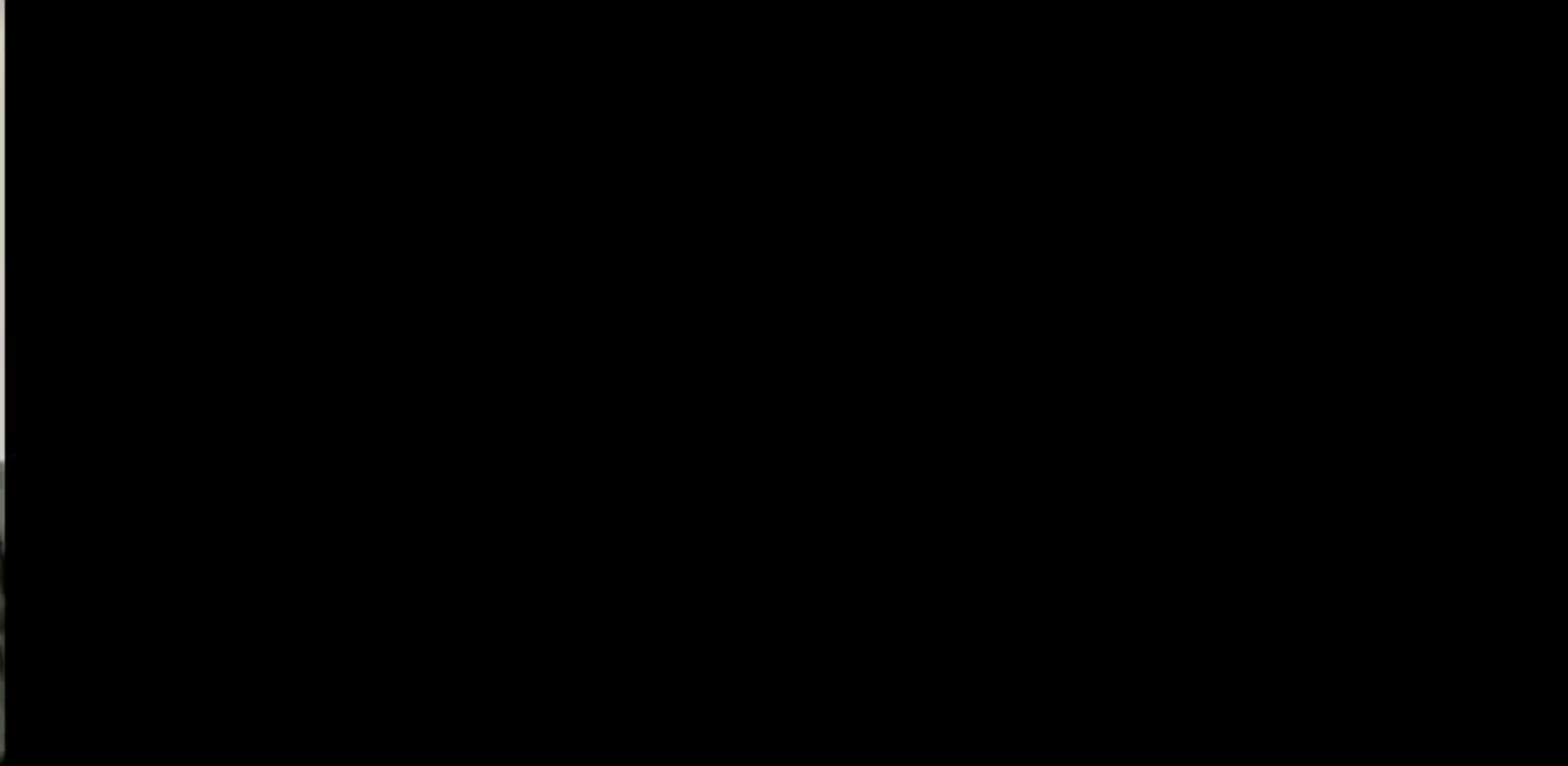














Mercis !