

ÉTIENNE-JULES MAREY

La Chronophotographie

IDEM • VELLE



AC • IDEM • NOLLE

ÉDITIONS ALLIA

16, RUE CHARLEMAGNE, PARIS IV^e

2026

Le présent ouvrage se compose de deux conférences portant, à huit années de distance, le même titre – *La Chronophotographie*. La première a été donnée au Collège de France en juillet 1891, avant de paraître pour la première fois dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées*, n° 21, le 15 novembre 1891. Elle a ensuite fait l'objet d'un ouvrage intitulé *La Photographie du mouvement*, paru chez Georges Carré à Paris, en 1892. La seconde fut prononcée au Conservatoire National des Arts et Métiers, en janvier 1899 ; elle a été recueillie par M. Adrien Legrand et publiée la même année chez Gauthier-Villars à Paris.

En couverture : Étienne-Jules Marey, *Pigeon au vol, images successives*, 1886.

© Éditions Allia, Paris, 2026.

LA CHRONOPHOTOGRAPHIE

Nouvelle méthode pour analyser le mouvement dans les sciences physiques et naturelles

LES sciences progressent en raison de la précision de leurs méthodes et de leurs instruments de mesure. La balance, le thermomètre, le manomètre ont donné à la chimie et à la physique la précision que nous admirons aujourd'hui. Ces divers instruments expriment la valeur statique des forces qu'ils doivent mesurer : la balance indique le poids actuel d'un corps en lui faisant équilibre avec des poids connus ; le manomètre équilibre pareillement la pression d'un gaz par celle d'une colonne de mercure.

Mais, sous leur forme primitive, ces instruments seraient incapables d'exprimer les variations qui surviennent à chaque instant dans le poids d'un liquide qui s'évapore, ni dans la pression d'un gaz dont on change la température. Aussi, pour mesurer les variations qui surviennent dans l'intensité des forces physiques, a-t-il fallu créer de nouveaux instruments que l'on nomme *inscripteurs* ou *enregistreurs*, et grâce auxquels on obtient, sous forme de courbes plus ou moins sinueuses, l'expression des changements de poids, de pression, de température, de tension électrique, etc. C'est avec ces instruments que les météorologistes suivent, en chaque point du globe, les variations de l'état de l'atmosphère, que les physiologistes inscrivent les changements les

plus délicats de la pression du sang, de la force des muscles, de la température des organes.

Or, tous les corps de la Nature présentent des *caractères extérieurs* sur lesquels notre vue nous renseigne, à la condition que ces caractères ne varient pas de manière à rendre l'observation impossible. La forme des corps, leurs dimensions, leur position dans l'espace peuvent être exactement appréciées à l'état statique; nous savons même, depuis un temps immémorial, représenter par le dessin ces caractères extérieurs. Mais cette laborieuse représentation des objets est souvent insuffisante, car elle ne peut montrer qu'à l'état de repos, des corps qui changent de forme ou qui se déplacent constamment.

La photographie est venue porter à la perfection la représentation des objets immobiles; elle nous en donne les images avec les détails les plus délicats; elle sait en réduire ou en agrandir la dimension, à une échelle connue et avec une précision que nulle autre méthode ne saurait atteindre. La photographie est donc, pour certaines sciences, l'auxiliaire le plus puissant: les sciences naturelles, par exemple, ne sauraient plus se passer de son concours; aussi notre savant confrère M. Janssen a-t-il caractérisé d'une manière fort heureuse les propriétés de la plaque photographique en l'appelant la rétine du savant.

Eh bien, cette rétine merveilleuse qui perçoit en un court instant l'aspect des corps à l'état statique ou d'immobilité, et qui fixe ces caractères d'une façon immuable, peut-elle saisir et fixer aussi les caractères du mouvement? Les appareils photographiques peuvent-ils se rattacher de quelque façon à la série des appareils inscripteurs qui traduisent les phénomènes

de la Nature où les forces sont toujours en action, la matière toujours en mouvement?

On peut aujourd'hui répondre à cette question par l'affirmative, et nous espérons montrer que la photographie, appliquée de certaine manière, renseigne de la façon la plus exacte sur des mouvements que notre œil ne saurait saisir parce qu'ils sont trop lents, trop rapides ou trop compliqués. Cette méthode que nous allons décrire, c'est la *Chronophotographie*¹.

Si l'on considère la propriété physiologique de l'œil humain, on voit que cet organe représente, au point de vue dioptrique, un appareil photographique avec son objectif et sa chambre noire; les paupières en forment l'obturateur, tandis que la rétine, sur laquelle viennent se former les images réelles des objets extérieurs, serait la plaque sensible.

Or cette rétine jouit à un certain degré des propriétés de la plaque photographique: Boll a démontré qu'il se forme à sa surface des images qu'on voit persister quelques instants sur la rétine d'un animal récemment sacrifié, de sorte que la vision serait la perception que nous aurions d'images photographiées dans notre œil. Loin d'être permanentes, comme celles des appareils photographiques, les images rétinienne sont fugitives; elles persistent toutefois quelques instants, prolongeant ainsi la durée apparente du phénomène qui leur a donné naissance. Cette propriété de la rétine va

1. Nous avons d'abord désigné notre méthode sous le nom de *Photochronographie*; mais le Congrès international de Photographie réuni à Paris, en 1889, a fixé la terminologie relativement aux différents procédés (Voir procès-verbaux et résolutions du Congrès, p. 66), et adopté le nom de *Chronophotographie*. Nous nous conformons à cette décision.

nous permettre d'étudier comment une image photographique peut représenter un mouvement.

Si nous sommes dans l'obscurité, de sorte que rien ne vienne mettre en action la sensibilité de notre œil, sauf un point lumineux ou un objet vivement éclairé, l'image de ce point ou de cet objet se peindra sur notre rétine et nous en conserverons l'impression quelque temps encore après que la source de lumière aura disparu. Il s'est peint dans notre œil l'image d'un objet à l'état statique, c'est-à-dire d'immobilité. Cette opération est identique à celle que nous faisons en prenant, au moyen de nos appareils, la photographie d'un objet immobile. Mais si le point lumineux se déplace rapidement au devant de notre œil, nous conserverons quelques instants une impression plus complexe, celle du trajet suivi par l'objet dans l'espace. Quand un enfant agite une baguette dont l'extrémité est incandescente et qu'il s'amuse à voir le ruban de feu qui semble onduler dans l'air, il photographie en réalité sur sa rétine *la trajectoire* d'un point lumineux; cette trajectoire n'est pas très longue, car la rétine ne garde pas longtemps les impressions reçues. Une plaque photographique donnerait, en pareil cas, l'image entière et permanente du chemin parcouru par le point lumineux; toutefois ce ne serait pas encore l'expression complète du mouvement, puisque cette image n'exprimerait que les positions successives occupées par le corps lumineux, abstraction faite de la durée de son parcours.

Pour exprimer complètement les caractères du mouvement, il faut introduire dans l'image *la notion de temps*; cela s'obtient en faisant agir la lumière d'une manière intermittente et à des intervalles de temps connus.

Ainsi, pendant que nous recevons l'impression rétinienne, si nous battions des paupières d'une manière intermittente, deux fois par seconde par exemple, l'image du ruban de feu qui se peindrait dans notre œil présenterait des interruptions, et le nombre des interruptions contenues sur une certaine longueur de la trajectoire lumineuse exprimerait, en demi-secondes, le temps que le mobile a employé pour effectuer ce parcours. Or, ce sont là, précisément, les conditions de la chronophotographie.

Nous nous proposons d'indiquer d'une façon sommaire ses méthodes et ses principales applications.

MÉTHODES

I

CHRONOPHOTOGRAPHIE SUR PLAQUE FIXE

Supposons qu'on braque un appareil photographique sur un champ obscur et que, l'objectif étant ouvert, on lance devant ce champ une boule brillante éclairée par le soleil, de telle sorte que l'image de cette boule impressionne successivement différents points de la plaque sensible. On trouvera sur cette plaque une ligne continue représentée (fig. 1) par la courbe supérieure qui représentera exactement la trajectoire suivie par le corps brillant. Si nous répétons l'expérience en admettant la lumière dans la chambre noire d'une manière intermittente, et à des intervalles de temps égaux, nous obtiendrons une trajectoire discontinue (courbe inférieure de la même figure), dans laquelle seront représentées les positions successives du mobile



Fig. 1. — Trajectoire simple et trajectoire chronophotographique d'une boule brillante qui se déplace devant un champ obscur.

aux instants où se sont produites les admissions de la lumière : c'est la courbe chronophotographique.

Cette méthode suppose que l'intervalle de temps qui sépare deux images successives soit toujours le même et qu'on en connaisse exactement la valeur. Pour obtenir les meilleures images possibles, il faut que l'objet soit vivement éclairé et le fond sur lequel il se détache parfaitement obscur¹ ; en outre, la durée des admissions de lumière doit être très courte et les intervalles entre deux éclairissements successifs parfaitement égaux.

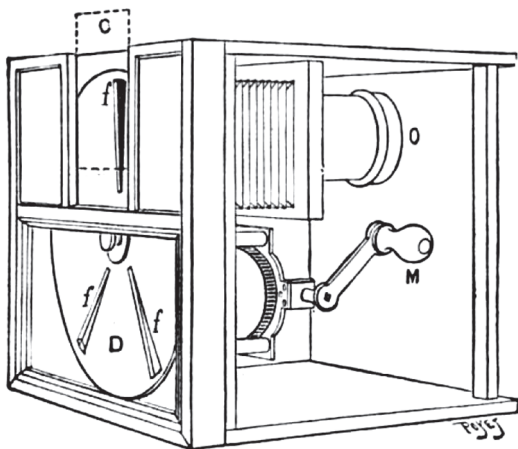
La figure 2 représente la disposition primitive que nous avons donnée à l'appareil chronophotographique. On faisait tourner au moyen d'une manivelle un disque fenêtré D, dont la rotation était réglée et parfaitement uniformisée au moyen d'un régulateur. La plaque sensible s'introduisait avec son châssis C au foyer de l'objectif O. À chaque passage d'une fenêtre (f), cette plaque recevait une image représentant l'objet éclairé, avec sa forme et sa position actuelles. Or, comme

1. Voir pour la manière d'obtenir un bon champ obscur, la *Méthode graphique* (supplément p. 22 et suiv.), Paris, Masson, 1884.

l'objet se déplaçait entre deux images successives, on obtenait une série d'images analogues à celles de la boule (fig. 1), indiquant les attitudes et les positions successives de l'objet en mouvement. L'intervalle entre les images était parfaitement réglé à $1/10$ de seconde; la durée des éclaircissements était de $1/500$ de seconde; enfin, une règle métrique avec ses divisions était placée devant le champ obscur, dans le même plan que l'objet photographié. L'image de cette règle, reproduite sur la plaque sensible, servait d'échelle pour mesurer la grandeur réelle de l'objet et les espaces qu'il avait parcourus dans chaque dixième de seconde.

L'image ainsi obtenue donnait, avec toute la précision d'une épure géométrique, les deux notions d'espace et de temps qui caractérisent tout mouvement. Toutefois, ces deux notions qu'il s'agissait de concilier dans la

Fig. 2. — Disposition de l'appareil pour la chronophotographie sur plaque fixe et sur champ obscur.



chronophotographie, sont, dans une certaine mesure, incompatibles entre elles, de sorte que, pour les obtenir toutes deux, on est souvent obligé de recourir à certains artifices, ainsi qu'on va le voir.

Pour une même vitesse de translation, si l'objet étudié couvre peu de surface dans le sens du mouvement, on en peut recueillir un grand nombre d'images sans que celles-ci se confondent en se superposant. C'est le cas du projectile que nous considérons tout à l'heure. La notion de temps est donc très complète quand celle d'espace est très restreinte.

Mais si nous prenons les images successives d'un homme qui marche (fig. 3), la notion d'espace est plus complète : chaque image couvre une surface étendue, et renseigne sur les positions que prennent le corps, les bras et les jambes. Mais, par cela même que chaque image occupe plus d'espace, le nombre qu'on en peut

Fig. 3. – Un homme qui marche : attitudes successives données par la chronophotographie sur plaque fixe.

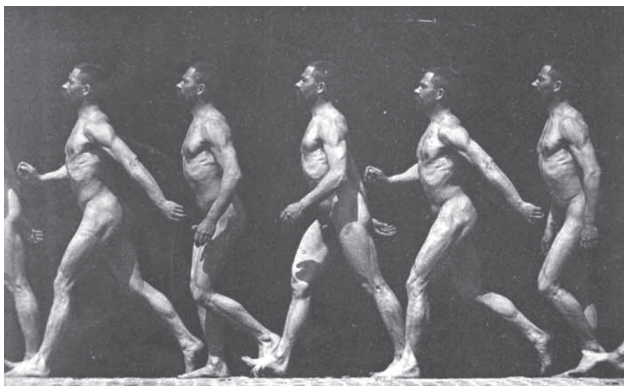




Fig. 4. – Cheval arabe au galop.

La grande surface couverte par chacune des images fait qu'elles se superposent entre elles presque complètement.

prendre est moins grand, sans quoi la confusion se produirait par superposition de ces images.

Avec un gros animal, un cheval par exemple, le nombre des images devra être très restreint, car la

Fig. 5. – Homme qui court.

Chronophotographie sur plaque fixe.

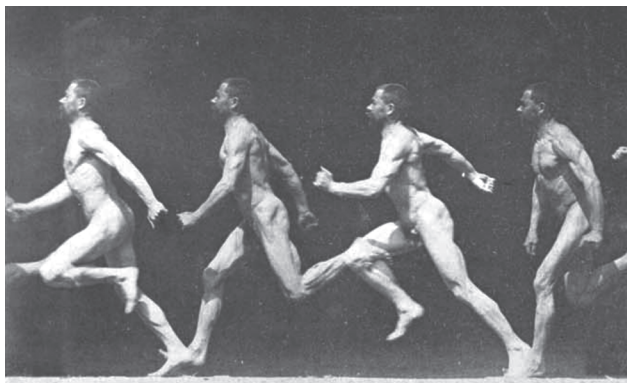
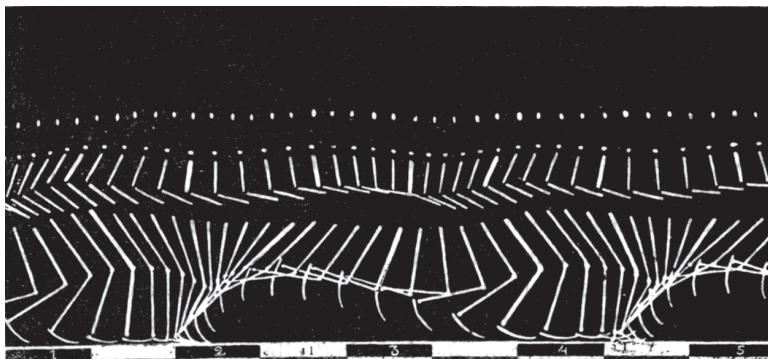


Fig. 6. – Homme vêtu de noir et par conséquent invisible quand il passera devant le champ obscur. Des lignes blanches qu'il porte sur les bras et les jambes seront seules marquées dans l'image chronophotographique.



Fig. 7. – Images d'un coureur réduite à des lignes brillantes qui représentent l'attitude de ses membres.
Chronophotographie sur plaque fixe.



longueur de chacune d'elles, mesurée dans le sens du mouvement, est très grande et la superposition se produirait ainsi qu'on le voit sur la figure 4 représentant un cheval au galop.

Pour des vitesses de translation différentes, le nombre des images qu'on peut prendre en un temps donné sans que la confusion se produise est d'autant plus grand que la translation est plus rapide. On peut s'en convaincre en comparant les images successives d'un homme qui court (fig. 5), avec celles d'un homme qui marche (fig. 3) : les images du coureur sont bien plus éloignées les unes des autres, quoique la fréquence des éclaircissements ait été la même dans l'un et l'autre cas.

Ainsi, la confusion des images par superposition est la limite qui s'impose aux applications de la chronophotographie sur plaque fixe. Dans bien des cas cependant, au moyen de certains artifices, on échappe à cet inconvénient.

Le moyen le plus naturel consistait à réduire artificiellement la surface du corps étudié. On rend invisibles, en les noircissant, les parties qu'il n'est pas indispensable de représenter dans l'image, et l'on rend lumineuses au contraire celles dont on veut connaître le mouvement. C'est ainsi qu'un homme vêtu de velours noir (fig. 6) et portant sur les membres des galons et des points brillants, ne donne, dans l'image, que des lignes géométriques sur lesquelles pourtant se reconnaissent aisément les attitudes des différents segments des membres.

Dans l'épure que l'on obtient ainsi (fig. 7), le nombre des images peut être considérable et la notion de temps très complète, puisque celle d'espace a été volontairement restreinte au strict nécessaire.

II

CHRONOPHOTOGRAPHIE
SUR PELLICULE MOBILE

Les résultats donnés par la chronophotographie pour l'analyse des mouvements sont donc très suffisants lorsqu'on n'en veut connaître que les caractères mécaniques ; nous les passerons en revue plus tard. Mais cette méthode ne saurait satisfaire le physiologiste qui veut analyser les mouvements d'ensemble d'un organe ; elle ne satisferait pas non plus l'artiste qui, dans un groupe de personnages, voudrait suivre les attitudes et les expressions de chacun d'eux. En outre, la chronophotographie sur plaque fixe ne peut être réalisée que dans des conditions spéciales, devant un fond parfaitement obscur ; un grand nombre de phénomènes lui échappent donc : les mouvements des nuages, ceux de la mer, la marche des navires, les allures des animaux sauvages, etc.

Pour obtenir une série d'images dans ces différents cas, il faut les recueillir sur une plaque sensible qui se déplace et présente successivement des points différents de sa surface au foyer de l'objectif photographique. Le revolver astronomique avec lequel M. Janssen recueillit une série d'images de la planète Vénus passant sur le disque lumineux du Soleil renferme le principe de ce procédé. Mais les images des deux astres étaient prises à des intervalles assez longs, il fallait, pour saisir les mouvements si rapides qu'exécutent les êtres animés, trouver un mécanisme très rapide lui-même. Nous avons construit à cet effet, il y a quelques années, une sorte de fusil dont le canon contenait un objectif et qui renfermait dans sa culasse

une glace photographique circulaire¹. On visait l'objet en mouvement, et en pressant sur la détente, on mettait en action le mécanisme. La glace sensible tournait sur elle-même et s'arrêtait douze fois par seconde pour recevoir les images de l'objet; la durée de la pose était à peu près de $1/720$ de seconde.

Malgré les difficultés mécaniques qu'il avait fallu surmonter pour obtenir une telle fréquence d'images, le résultat obtenu n'était pas encore satisfaisant : ces images étaient trop petites et, à l'agrandissement, ne donnaient que des détails insuffisants.

Si nous avons éliminé systématiquement les appareils à objectifs multiples, comme celui de Muybridge qui a donné pourtant de si admirables résultats, c'est que, dans ces appareils, les divers objectifs *voient*, si l'on peut ainsi dire, l'objet photographié sous des incidences différentes. Or ces changements de perspectives, s'ils n'ont pas d'inconvénients quand on opère sur des objets éloignés et de grandes dimensions, ne permettraient pas d'étudier les objets de petite taille, qui doivent s'observer de très près, à plus forte raison les êtres microscopiques. C'est pourquoi nous nous sommes décidé à l'emploi d'un objectif unique au foyer duquel une longue bande de pellicule sensible passe en s'arrêtant pour recevoir chaque image; passe encore, s'arrête de nouveau, et cela avec une telle vitesse qu'on peut obtenir jusqu'à 60 images à la seconde, chacune de ces images n'employant à se former qu'un temps de pose très court variant de $1/1000$ à $1/25\,000$ de seconde.

1. Voir supplément à la *Méthode graphique*, p. 12.

Nous ne rappellerons pas les nombreuses tentatives à travers lesquelles il a fallu poursuivre la réalisation de ce programme ; nous nous bornerons à décrire l'appareil unique dans lequel sont définitivement réunies les dispositions nécessaires pour la chronophotographie, soit sur plaque fixe, soit sur pellicule mobile. Cet appareil recueille également bien les images réduites de grands objets éloignés, les images en grandeur réelle de petits objets rapprochés, enfin les images très amplifiées des êtres qui se meuvent dans le champ du microscope.

Ajoutons que la difficulté de saisir un mouvement ne tient pas toujours à sa trop grande vitesse ; certains mouvements nous échappent encore par leur lenteur : c'est ainsi que l'aiguille d'une montre nous paraît immobile. Or il y a des mouvements bien plus lents qu'il est important de rendre saisissables : la chronophotographie se prête également bien à l'analyse de ces mouvements très lents.

III

DESCRIPTION

DU CHRONOPHOTOGRAPHE COMPLET

Le chronophotographe complet (fig. 8) renferme, avons-nous dit, tout ce qui est nécessaire pour prendre des images, soit sur une plaque fixe, soit sur une bande pelliculaire qui se déplace ; son tirage variable et la possibilité de changer l'objectif dont on se sert permettent d'obtenir, suivant le besoin, des images réduites ou amplifiées ; la fréquence et l'étendue de ces images, la durée des temps de pose et l'intensité des éclairagements peuvent être réglés suivant le besoin.

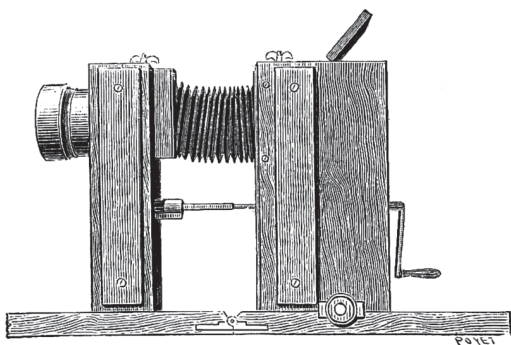


Fig. 8. – Disposition nouvelle de l'appareil,
se prêtant à toutes les applications de la chronophotographie.
(Échelle 1/10.)

Nous décrirons d'abord les pièces qui sont nécessaires pour la chronophotographie sur plaque fixe, c'est-à-dire pour le cas le plus simple.

A. Pièces qui servent

à la chronophotographie sur plaque fixe

Nous avons vu qu'un appareil photographique très simple, dans lequel la lumière arrive d'une façon intermittente, suffit pour appliquer cette méthode. Ces pièces sont faciles à reconnaître dans la fig. 8, où l'on voit les deux corps de l'appareil réunis par un soufflet. L'arrière-corps glisse sur un rail au moyen d'un bouton à crémaillère, suivant les besoins de la mise au point. L'objectif dont on se sert doit toujours être contenu dans une boîte fendue en dessous (fig. 9) et qui coulisse dans une ouverture de l'avant-corps de l'appareil qu'elle remplit exactement. La fente située au-dessous de la boîte coupe en deux l'objectif

perpendiculairement à son axe optique principal, et laisse passer les disques fenêtrés qui produiront, en tournant, des intermittences dans l'admission de la lumière.

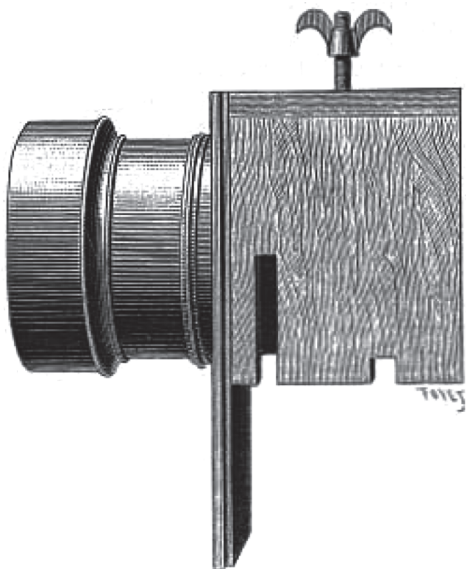


Fig. 9. — Objectif photographique en partie contenu dans sa boîte. La planchette située en avant entre dans une coulisse de l'avant-corps de l'appareil. La fente située au-dessous de la caisse laisse passer les disques obturateurs. (Échelle 1/3.)

Le soufflet s'adapte par une de ses extrémités à la boîte de l'objectif, tandis que l'autre, collée à l'arrière-corps, se trouve, par sa large ouverture, en rapport soit avec le châssis à verre dépoli (fig. 10), soit avec le châssis photographique (fig. 11).

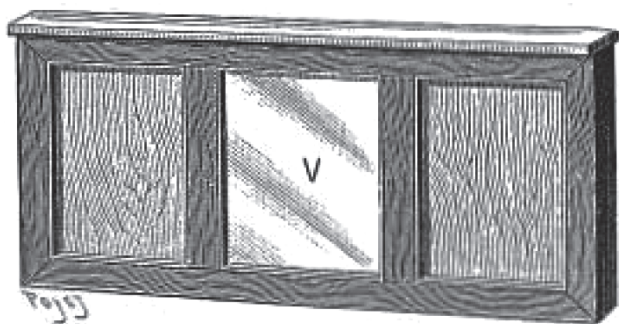


Fig. 10. – Châssis à verre dépoli V pour la mise au point dans la chronophotographie sur plaque fixe.

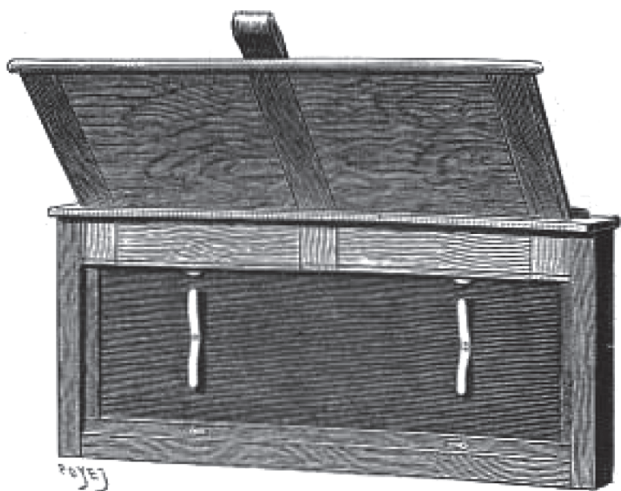


Fig. 11. – Châssis recevant la glace sensible dans la chronophotographie sur plaque fixe. Le volet du châssis est tiré.