

Auteur : Exposition universelle. 1900. Paris

Titre : Musée centennal de la classe 12 (Photographie) à l'exposition universelle internationale de 1900 à Paris. Métrophotographie & chronophotographie

Mots-clés : Exposition internationale (1900 ; Paris) ; Photographie -- 1870-1914

Description : 1 vol. (35 p.) : ill. ; 29 cm

Adresse : [Saint-Cloud] : [Imprimerie Belin frères], [1900]

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 Xae 553 (Relié avec 8 Xae 554, 8 Xae 555)

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE553>

553

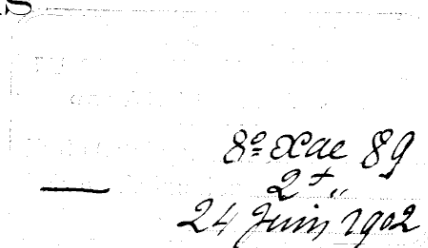
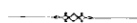
8° Xae 553

MUSÉE CENTENAL

DE LA CLASSE 12 (PHOTOGRAPHIE)

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900

A PARIS



MÉTROPHOTOGRAPHIE & CHRONOPHOTOGRAPHIE



EXPOSITION

d'instruments, de photographies, de cartes et de plans

RELATIFS

A L'HISTOIRE DE LA MÉTROPHOTOGRAPHIE

PAR

le Colonel **LAUSSEDAT**

MEMBRE DE L'INSTITUT



L'art de restituer les plans et les élévations de monuments ou le plan d'une étendue plus ou moins considérable de terrain, avec son relief exprimé par des courbes de niveau, d'après des vues prises de points convenablement choisis, est généralement désigné par le nom d'*iconométrie*. Lorsque les vues sont dessinées, avec ou sans le secours de perspectographes, ce nom est parfaitement approprié; mais, quand elles sont photographiées, on est convenu de rappeler cette circonstance en qualifiant le procédé suivi sous les noms de *phototopographie*, de *photogrammétrie*, ou mieux, pour se conformer à la règle adoptée par le Congrès de photographie, sous le nom de *métrophotographie*.

Les premiers essais de restitution des plans d'après les vues pittoresques dessinées à l'aide du meilleur des perspectographes (la chambre claire de Wollaston modifiée) ont été faits en 1849 par le colonel Laussedat, alors capitaine, qui s'efforçait ainsi de mettre à profit la lumineuse conception de l'illustre ingénieur-hydrographe français Beautemps-Beaupré, laquelle remontait à la fin du dix-huitième siècle (1791).

Le Musée centennial de la Classe 15 (instruments de précision) contenait, exposés dans une vitrine et sur les parois de la salle qui lui était affectée, la première *chambre claire héli-périscopique* de M. Laussedat, un modèle de l'appareil qu'il a désigné sous le nom de *télémetrographe* (ancêtre des téléobjectifs) avec plusieurs

aquarelles représentant : l'une, la restitution d'une partie de la forteresse du Mont-Valérien, et une seconde, celle de l'un des fronts du fort de Vincennes (*fig. 1*) (1),

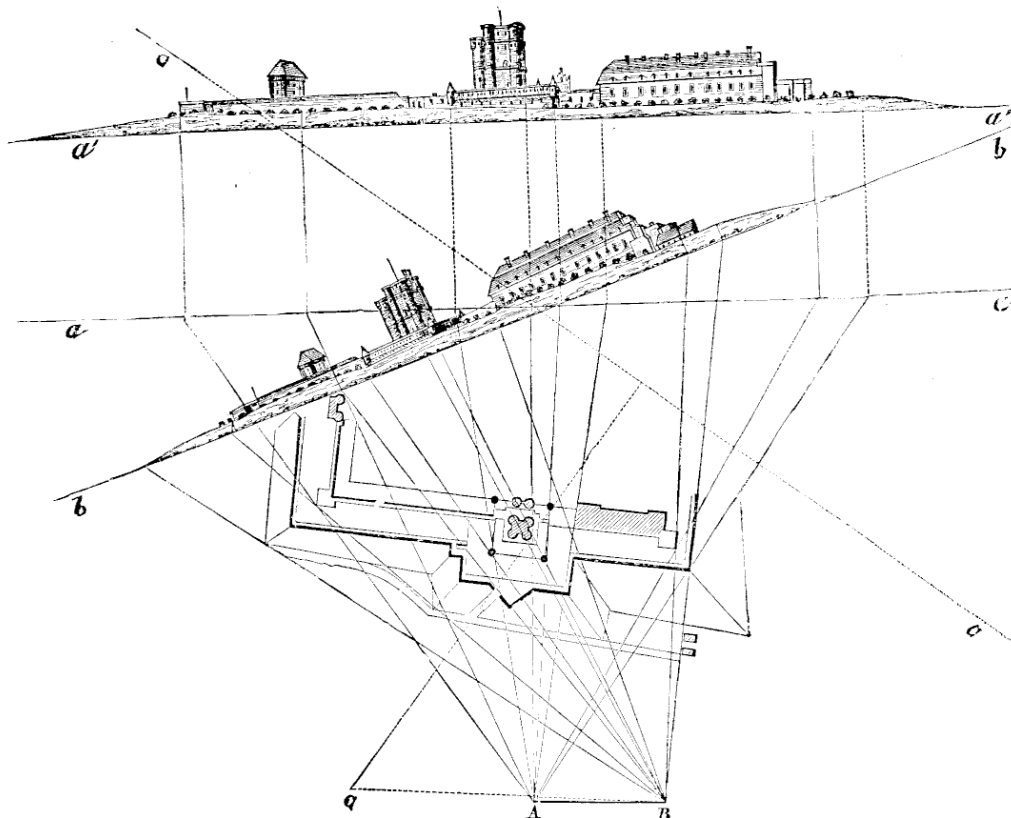


Fig. 1.

d'après deux vues dessinées à la chambre claire seule, et les autres, des *champs de lunette* et des panoramas entiers fort étendus dessinés à l'aide du télémétrographe pendant le siège de Paris par les armées allemandes ; enfin l'ensemble des résultats obtenus, à l'occasion de ce siège, de douze observatoires permanents et d'autres stations temporaires, rapportés sur une carte des environs de Paris, à l'échelle de 1/25000 et représentant les lignes de circonvallation, les abris et les batteries de l'ennemi.

Il ne sera question, dans cette notice, que des instruments, des photographies et des plans qui sont du domaine de la métrophotographie.

Les instruments enfermés dans la vitrine disposée à l'une des extrémités du

(1) La figure 1, que nous reproduisons ici, est destinée à donner une idée nette du principe de la méthode générale.

Musée centennal de la Classe 12 se composaient de photothéodolites de plusieurs modèles, les uns disposés à l'usage des ingénieurs dans les pays civilisés, les autres à l'usage des voyageurs et explorateurs ; nous donnons ici seulement la figure du photothéodolite destiné aux ingénieurs (*fig. 2*). On y avait joint un appareil destiné à photographier le soleil, les éclipses de cet astre par la lune, les passages des planètes intérieures sur son disque et à effectuer les mesures les plus délicates et les plus précises sur les épreuves négatives elle-mêmes. Cet appareil, imaginé en 1860 pour observer l'éclipse totale du 18 juillet, et qui a été désigné sous le nom de *photohéliographe horizontal*, se compose essentiellement d'une lunette astronomique posée horizontalement sur des piliers en pierre de taille, dans la direction du méridien ou dans celle du premier vertical (munie d'un niveau très sensible et en rapport constant avec un instrument des passages), d'une chambre noire adaptée au-devant de l'oculaire, d'un héliostat placé près de l'objectif, enfin d'un écran mobile interposé entre l'objectif et l'héliostat. Après avoir subi de très légères modifications, il a été employé par les astronomes français et américains à l'observation des passages de Vénus en 1874 et en 1882.

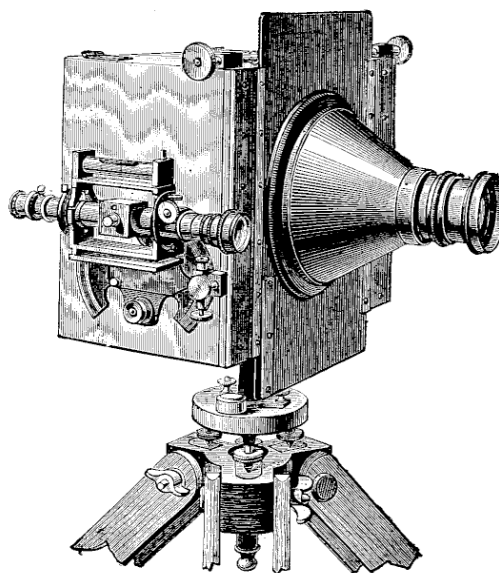


Fig. 2. — Photothéodolite.

Sur la paroi restée libre, au-dessus et sur les deux côtés de la vitrine, en partant de la cimaise, figurait une nombreuse série de cadres dans lesquels on avait disposé des exemples de restitution de plans d'édifices et de terrains, des photographies de paysages prises à terre avec des photothéodolites, et de points de vue aériens avec des chambres noires enlevées en ballon ou par des cerfs-volants ; des cartes levées entièrement au moyen des éléments géométriques fournis par la photographie, enfin, et à part, les phases de l'éclipse de soleil du 18 juillet 1860 obtenues à l'aide du photohéliographe horizontal, avec la collaboration de M. Aimé Girard.

Parmi ces tableaux nous citerons :

1^o La restitution du plan extérieur des élévations de la façade principale et de l'une des façades latérales de l'église de Santa-Maria delle Grazie, de Milan (œuvre de Bramante), d'après une seule photographie prise dans le commerce et pour laquelle on n'avait aucun renseignement, c'est-à-dire que l'on ignorait la lon-

gueur focale de l'appareil qui avait servi à l'obtenir, la hauteur ou la largeur de l'un quelconque des éléments de l'architecture, etc.

2° Le plan *nivelé* du village de Buc, près de Versailles (*fig. 3*), à l'échelle de 1/2000, exécuté en 1861, d'après huit photographies sur collodion humide prises de quatre stations reliées par une triangulation, en partant d'une base mesurée

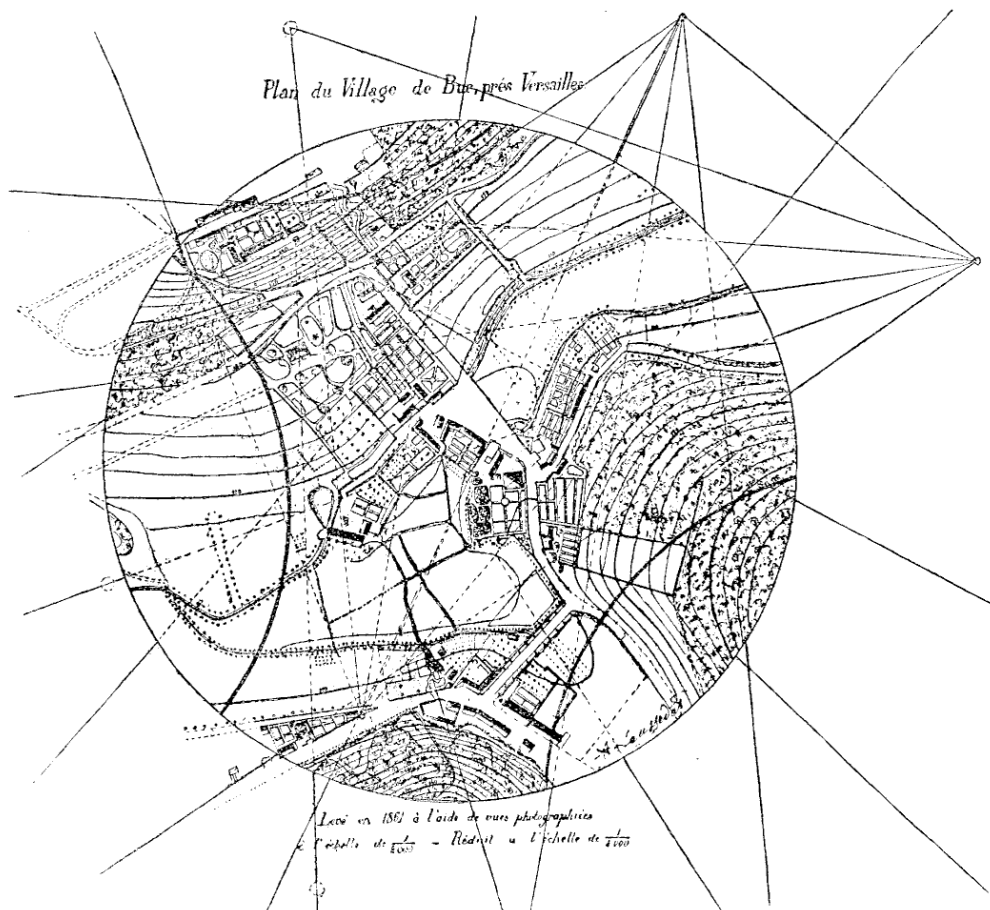


Fig. 3. — Plan d'un village levé en 1861 à l'aide de la photographie.

de 334^m,80 de longueur, avec des courbes de niveau espacées de mètre en mètre. La méthode est mise en évidence par cet exemple (1).

3° Le plan nivelé de Sainte-Marie-aux-Mines et des environs, levé en 1867, à l'échelle de 1/5000 (réduit à l'échelle de 1/10000) par le capitaine du génie, depuis commandant Javary, avec six vues, prises de trois stations, parmi les cin-

(1) On ne peut, dans cette notice, mettre sous les yeux du lecteur que le résultat de ce travail, c'est-à-dire le plan du village de Buc, réduit même à l'échelle de 1/4000.

quante-deux qui ont été employées à l'exécution de ce remarquable travail, lequel ne le cédait en rien aux levés réguliers de la brigade topographique du génie.

4° Un spécimen de la carte à l'échelle de 1/20 000 d'une zone de plusieurs kilomètres de largeur le long du chemin de fer Pacifique Canadien, sous la direction de l'arpenteur général du Canada, M. E. Deville, par M. W.-S. Drewry, pour la triangulation, et J.-J. Mac Arthur pour la topographie (1888 et années suivantes); cette carte a été entièrement construite par la méthode photographique.

5° Une carte à l'échelle de 1/80 000 d'une partie de la région des Foothills, au sud de la province d'Alberta (Canada), levée en 1896-97 pour servir aux études des irrigations de cette contrée, accompagnée d'une autre feuille comprenant la chaîne des triangles et l'indication de toutes les stations photographiques.

6° Le plan de Dawson city, au confluent du Yukon et du Klondike, avec les deux vallons aurifères d'Eldorado et de Bonanza, dressée à Ottawa, c'est-à-dire très loin de cette contrée peu hospitalière, par M. E. Deville, à l'échelle de 1/80 000, d'après les seize petites photographies, également exposées, prises de trois stations, par M. Ogilvie, arpenteur, depuis gouverneur du Klondike, en 1898.

7° La première vue photographiée en ballon par Nadar père, en 1858, à Paris (région de l'Arc de Triomphe).

8° Une série de vues prises en ballon au-dessus de Bâle (Suisse) à des hauteurs différentes : 400^m, 450^m, 500^m, 1 260^m, 1 400^m et 1 500^m destinées à montrer les effets de cette variation de hauteur sur la netteté des détails topographiques.

9° Plusieurs vues très intéressantes prises avec de petites chambres obscures enlevées par des cerfs-volants, à des hauteurs variables, par M. Arthur Batut, de Labruguière (Tarn), et par M. Wentz, de Reims.

10° Deux superbes photographies (d'après des négatifs obtenus sur papier ciré sec) prises dans les Alpes, en 1858, par Aimé Civiale, pour servir à l'étude topogéologique des hautes montagnes.

11° Une vue du fort de Saint-Eynard, prise de Grenoble, à la distance de 5 kilom. 500 en 1892, par M. le lieutenant-colonel Allotte de la Fuye, à l'aide d'un téléobjectif imaginé par cet officier supérieur et donnant un grossissement de 120.

12° Un spécimen des vues prises en ballon en Amérique, pendant la guerre de la Sécession.

On aurait pu y joindre, si la place n'avait pas fait défaut, un spécimen des vues prises en 1870 devant Strasbourg par le détachement prussien de photographie de campagne : d'autres, en très grand nombre, de levés photographiques exécutés en Allemagne ou par des savants allemands hors d'Europe, en Autriche-Hongrie, en Russie, en Espagne, etc., etc., qui eussent démontré la vogue générale dont jouit aujourd'hui, dans le monde entier, la métrophotographie topographique.

On peut d'ailleurs rattacher à cette application géométrique de l'art de Niepce et de Daguerre, la chronophotographie, la microphotographie, la photographie céleste en général, celle des nuages, pour en déterminer la hauteur et les mouvements dans l'atmosphère, la recherche des accidents anatomiques par la radiographie, etc. ; mais ces diverses branches étaient brillamment représentées à l'Exposition universelle de 1900 par les soins de leurs principaux initiateurs en France : MM. le D^r Marey, Monpillard, les frères Henry, Lœwy et Pierre Puiseux, Léon Teisserenc de Bort, Contremoulins, etc.

EXPOSITION

d'instruments et d'images

RELATIFS

A L'HISTOIRE DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE

PAR

le Docteur MAREY

MEMBRE DE L'INSTITUT



On donne le nom de chronophotographie à une méthode qui *analyse* les mouvements au moyen d'une série d'images photographiques instantanées recueillies à des intervalles de temps très courts et équidistants. En représentant ainsi les attitudes et les positions successives d'un animal par exemple, la chronophotographie permet de suivre toutes les phases de ses allures et même de les traduire par de véritables épures géométriques.

Dans ces dernières années, la chronophotographie a poursuivi un autre but : la *synthèse* du mouvement. En faisant passer devant les yeux du spectateur la série des images analytiques, on reproduit l'apparence du mouvement lui-même. Les projections animées sont connues de tout le monde.

L'Exposition internationale de 1900 nous a fourni l'occasion de rassembler les documents relatifs à l'invention et aux perfectionnements successifs de la chronophotographie.

(1) Nous avions d'abord donné à cette méthode le nom de *Photochronographie*, nous l'avons changé pour nous conformer à la décision du Congrès.



Fig. 1.



PREMIÈRE PARTIE

DESCRIPTION DES APPAREILS



Une grande vitrine (*fig. 1*) rassemblait les principaux instruments imaginés par divers auteurs au cours du développement de la chronophotographie. Les instruments étaient classés suivant la date de leurs inventions. Enfin, quatre grands cadres présentaient les images obtenues dans les applications de la chronophotographie à différentes sciences.

Sur la figure 1, dont les dimensions trop restreintes ne permettent pas de bien saisir le détail des objets exposés, on a placé des numéros qui désignent chacun d'eux avec son ordre chronologique.

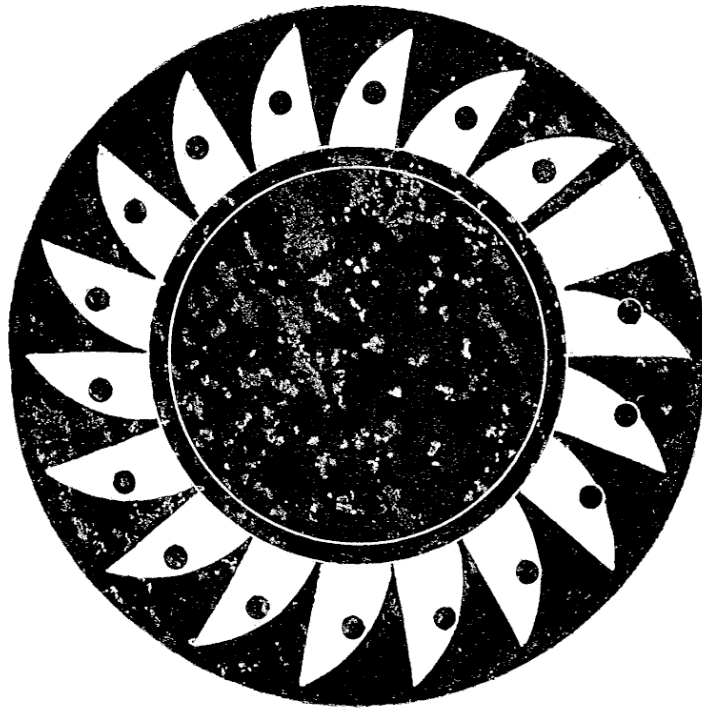


Fig. 2.

Le N° 1 correspond au *revolver astronomique* de Janssen, imaginé par ce savant en 1873 et qui était destiné à retracer les phases successives du passage de la planète Vénus sur le disque du soleil.

Au foyer d'une lunette braquée sur le soleil était une chambre photographique dont la plaque sensible, de forme circulaire, tournait par saccades autour de son centre de manière à présenter, toutes les 70 secondes, un point différent de son pourtour au foyer de l'objectif. On obtenait ainsi une série d'images (*fig. 2*) repré-

sentant les positions successives de la planète sur le soleil, on la voyait pénétrer dans le disque solaire, puis le traverser, enfin en ressortir; et, comme on connaissait l'intervalle des images, on pouvait mesurer la vitesse du phénomène.

Cette expérience nous a paru être la première réalisation d'une *chronophotographie*; car si d'autres auteurs, avant Janssen, ont conçu des expériences plus hardies, il n'y avait pas lieu, dans une Exposition d'objets réels, de faire figurer des plans et des projets irréalisables autrefois (1).

N° 2. Analyse du mouvement des animaux par la méthode de Muybridge, 1878. Le célèbre photographe de San-Francisco réussit à saisir, au moyen d'images instantanées successives, toutes les phases des allures d'un cheval, même au plus rapide galop. Muybridge étudia par sa méthode les mouvements de l'homme et les principaux types de la locomotion quadrupède.

Voici en quoi consistait le dispositif employé par Muybridge. Des appareils photographiques multiples, de 12 à 24 suivant le nombre des images que l'on voulait obtenir, étaient disposés en séries et braqués sur une piste où galopait un cheval. Chaque appareil photographique était muni d'un obturateur rapide actionné par un électro-aimant. En parcourant la piste, le cheval rompait successivement une série de fils dont chacun, par sa rupture, déclenchait l'obturateur de l'un des appareils. Les choses étaient disposées de telle sorte que, pendant la durée de son parcours, l'animal provoquait la prise successive d'une série d'images instantanées (*fig. 3*) (2).

La méthode de Muybridge a été employée peu de temps après par Anschütz de

(1) Dans un article intitulé « Origines du cinématographe » (*Camera obscura*, février, 1901), Ch. Niewen-głowski cite l'ingénieuse idée de Ch.-Ad. Reville qui, en 1857, proposait de faire se succéder dans le stéréoscope une série de doubles images représentant les phases successives d'un phénomène. Mais il eût fallu recueillir les images successives de ces phases, ce qui n'était possible à cette époque que pour les mouvements très lents. Le même article cite encore et représente un appareil imaginé en Amérique vers 1831, par Colemann Sellers « le Stéréophantoscope », obtenant le même résultat que celui de Reville. La conception la plus remarquable est assurément celle de M. Ducos du Hauron qui prit, en mars 1864, un brevet pour un *appareil destiné à reproduire photographiquement une scène quelconque avec toutes les transformations qu'elle a subies pendant un temps déterminé*. La prise des images successives et leurs projections sous forme de photographies animées, tout est décrit et figuré dans le brevet de M. Ducos du Hauron. Mais cette conception était alors tout à fait irréalisable.

Ajoutons que dans tous les appareils qui viennent d'être cités, la sensation de mouvement que devaient donner les images successives était basée sur la persistance des impressions rétiniennes, principe du phénakistoscope de Plateau, imaginé en 1833.

(2) Nous rangeons les expériences de Muybridge dans la chronophotographie, bien que cet ingénieux expérimentateur ne soit pas arrivé à prendre ses images instantanées à des intervalles de temps rigoureusement égaux entre eux. En effet, la vitesse du cheval n'étant pas absolument uniforme, des fils équidistants ne se rompaient pas à des intervalles de temps égaux. Et même, en admettant que la translation du cheval fût sensiblement uniforme, chaque fil, avant de se rompre, subit une elongation plus ou moins grande. De l'influence de ces deux causes résultait une certaine inégalité dans la succession des images. Muybridge essaya de corriger ce défaut en déclanchant ses objectifs par un mécanisme indépendant, mais il n'y réussit pas, dit-il, d'une façon satisfaisante.

Lissa, qui paraît y avoir introduit quelques perfectionnements et qui surtout eut la bonne fortune d'opérer avec les plaques au gélatino-bromure d'argent qu'on venait d'inventer. Quelques belles séries d'images obtenues par Anschütz étaient exposées dans la vitrine.

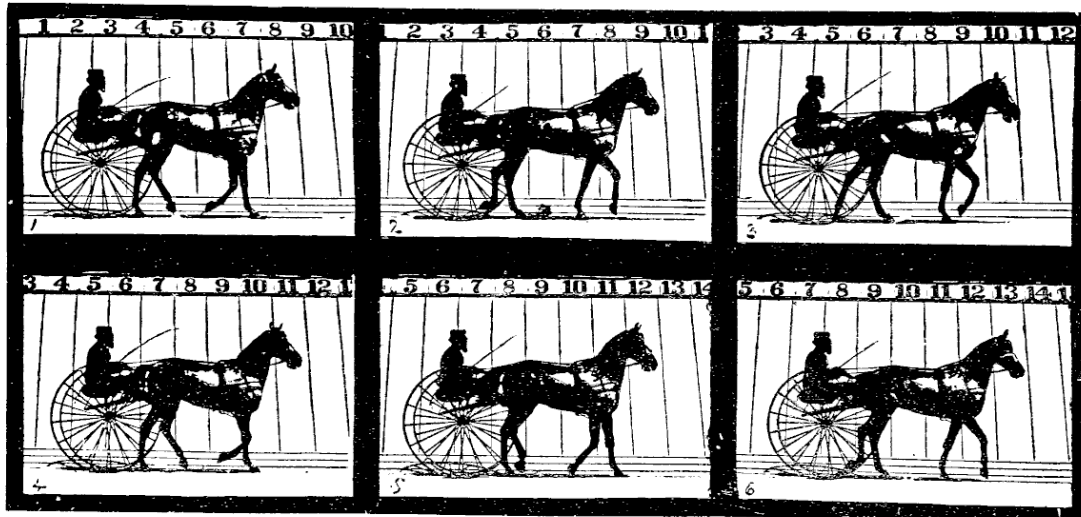


Fig. 3.

N° 3. *Chronophotographie sur plaque fixe devant un champ obscur.* Marey, 1882.
— L'analyse du mouvement par la chronophotographie était déjà fort remarquable, mais les appareils étaient trop coûteux, la mesure des espaces et des temps trop imparfaite; nous avons essayé de simplifier les expériences tout en les rendant plus précises. Le principe de notre première méthode est le suivant :

Imaginons qu'un appareil photographique ordinaire soit braqué sur un champ parfaitement obscur et que, devant l'objectif, un disque opaque percé de petites ouvertures tourne continuellement. Chaque fois qu'une ouverture passera devant l'objectif, il y aurait admission de lumière si l'appareil avait devant lui un champ éclairé; mais devant le champ obscur il n'en est pas ainsi, aucune lumière ne pénètre dans l'appareil, et au bout d'un certain temps la plaque, soumise au développement, montre qu'elle n'a pas été impressionnée.

Si, devant le champ obscur, on fait passer un homme ou un animal vivement éclairé, chaque admission de la lumière produit une image de l'animal. et, comme celui-ci se déplace sans cesse, ses images successives se montrent sur la plaque en des points différents et avec des attitudes différentes.

Cette disposition serait trop imparfaite. La figure 4 montre notre chronophotographie avec sa forme réelle. Dans une boîte cubique on aperçoit la chambre photographique avec son objectif. En arrière est le châssis C, qui s'introduit dans

une coulisse. Entre le châssis et la chambre noire tourne le disque fenêtré qui rase la plaque sensible (c'est ce qu'on appelle aujourd'hui un obturateur de plaque). Ce disque, ponctué dans la figure, est actionné par un rouage muni d'un régulateur de vitesse et qu'on met en mouvement à l'aide d'une manivelle.

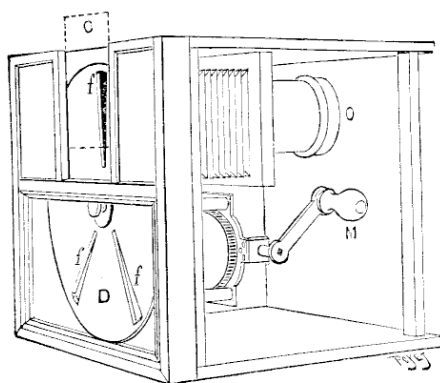


Fig. 4.

La figure 5 représente le vol d'un canard blanc qui passe devant le champ obscur. La succession des images se lit de gauche à droite; on y voit, pour la durée d'un coup d'aile, huit attitudes différentes qui révèlent les détails du mécanisme du vol.

Pour apprécier les dimensions de l'animal et l'étendue de ses mouvements, une règle divisée est placée devant le champ obscur; elle se peint sur les images et sert d'échelle métrique.

Enfin, pour faire connaître les intervalles de temps qui séparent les images successives, on a placé en bas et à droite du champ obscur un *chronographe*. C'est un cadran noir à divisions blanches, parcouru par une aiguille blanche qui fait un tour en une seconde. Chaque fois que le disque obturateur admet la lumière, et produit une image de l'oiseau, il se produit aussi une image de l'aiguille; celle-ci

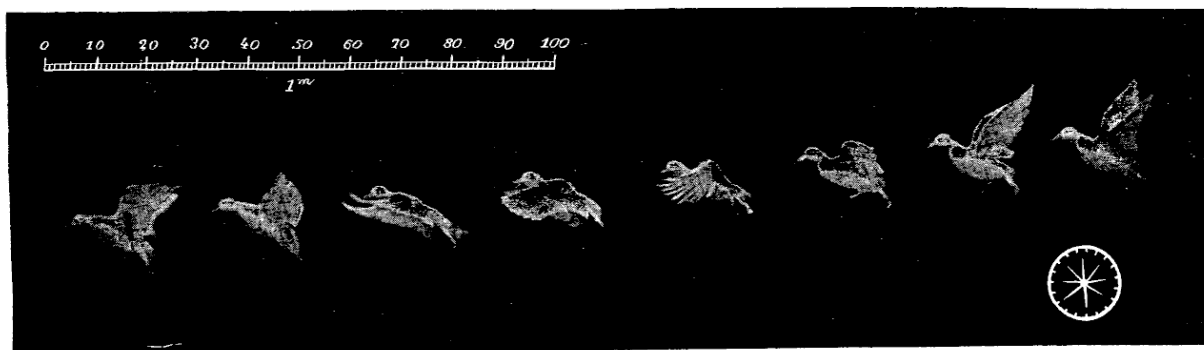


Fig. 5.

occupe sur le cadran des positions toujours nouvelles et équidistantes. Il y a huit images de l'aiguille dans la figure: l'intervalle qui les sépare est donc sensiblement d'un huitième de seconde.

N° 4. *Champ obscur pour la chronophotographie sur plaque fixe.* — Aucune substance n'est absolument noire. Chevreul a montré que le noir ou l'obscurité

absolue ne peuvent s'obtenir qu'au moyen d'une cavité tapissée de noir et sur les parois de laquelle la lumière ne vient pas frapper. Pour nous rapprocher de ces conditions idéales, nous avons construit un hangar profond tapissé de velours noir et orienté de telle sorte que la lumière n'y pénètre pas. On obtient ainsi des images très nettes sur un fond dépourvu de tout voile.

N° 5. *Figures en relief obtenues d'après la chronophotographie.* — Un appareil unique ne donne que la projection des mouvements sur un plan perpendiculaire à

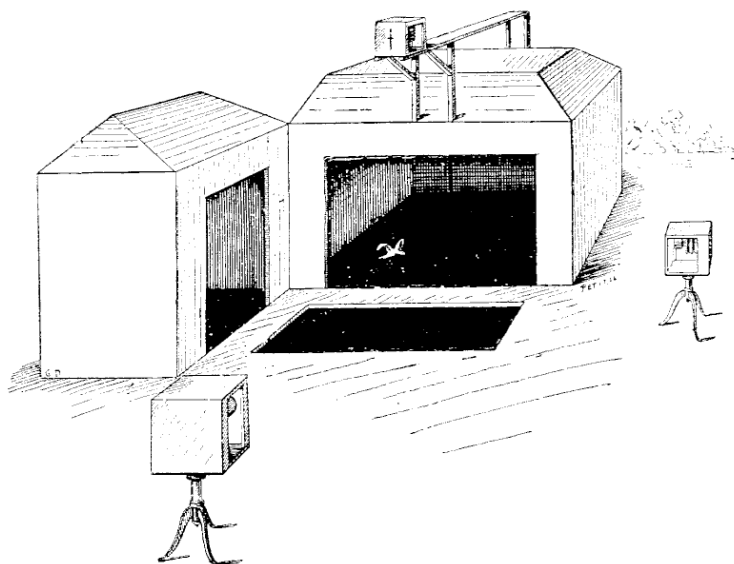


Fig. 6.

l'axe optique de l'instrument. Mais si trois chronophotographes sont braqués sur des champs obscurs perpendiculaires entre eux (*fig. 6*), l'animal représenté sera

vu sous trois aspects différents qui permettront de comprendre ses attitudes par rapport aux trois dimensions de l'espace.

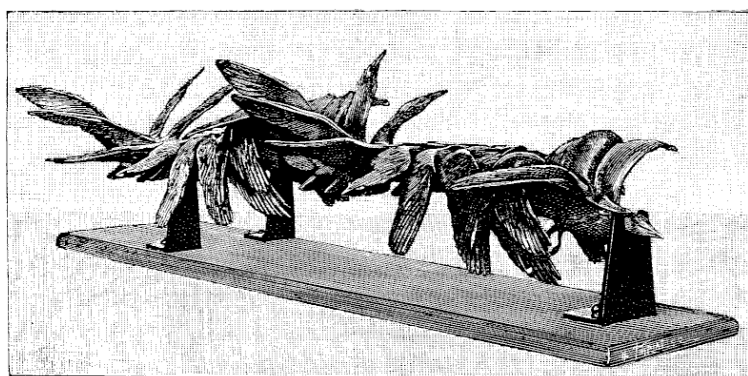


Fig. 7.

seaux qui éclairent plus complètement le mécanisme des mouvements. La figure 7 montre une série de figurines de bronze fusionnées entre elles et représentant les attitudes successives d'un goéland au vol.

D'après ces documents, nous avons pu modeler des figures d'hommes et d'oiseaux

N° 6. *Fusil photographique, 1882.* — Dans l'étude du vol des oiseaux, la néces-

sité d'opérer devant un champ obscur restreint singulièrement le nombre des expériences possibles. Pour analyser le vol libre, il fallait opérer au besoin sur le ciel lumineux et disposer d'un appareil capable de viser, comme avec un fusil, l'oiseau en mouvement.

Le fusil photographique (*fig. 8*) contient dans son canon un objectif à long

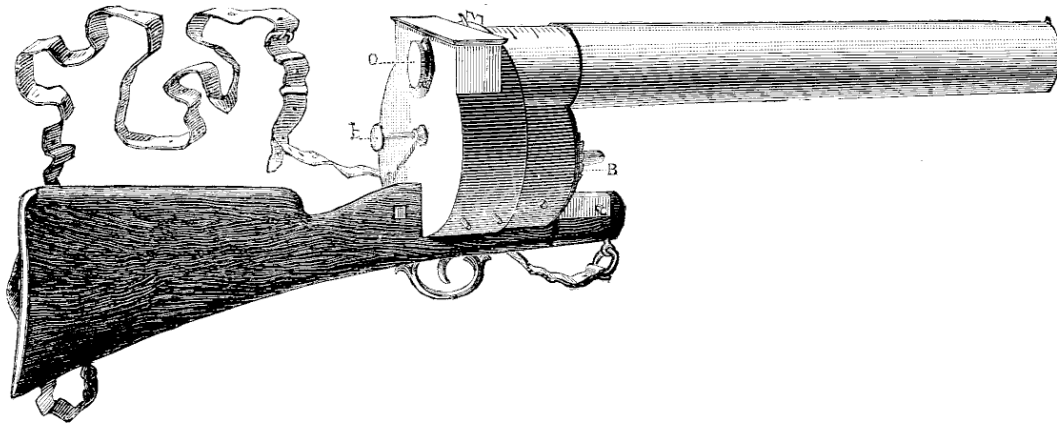


Fig. 8.

foyer. Dans la culasse tourne une plaque circulaire qui présente au foyer de l'objectif des points différents de sa circonférence. L'appareil est donc en principe

analogue au revolver astronomique de Janssen, avec cette différence qu'il donne des images environ 800 fois plus fréquentes, ce qui exigeait un mécanisme assez délicat.

La figure 9 est l'image d'un goéland au vol libre.

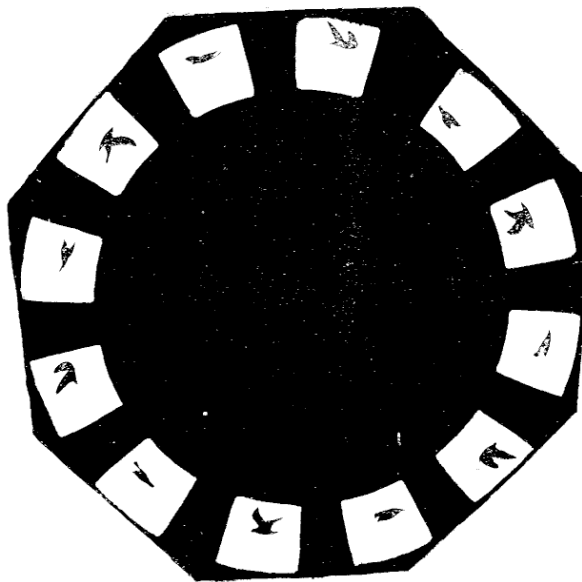


Fig. 9.

plaque rectangulaire de grandes dimensions. Un ingénieux dispositif provoque

N° 7. Appareil de M. Londe à objectifs multiples, 1883. — Revenant à la méthode de Muybridge avec un perfectionnement très important, M. Londe construisit avec M. Dessoudeix un appareil dans lequel une série de douze objectifs forment leurs images en des points différents d'une

l'ouverture successive de ces objectifs à des intervalles équidistants aussi rapprochés qu'on le veut. L'analyse du mouvement est ainsi très parfaite; l'ordre des images ne peut pas être interverti, puisqu'elles sont toutes obtenues sur une même plaque; mais le nombre de ces images est nécessairement limité par la nécessité d'avoir un objectif pour chacune d'elles. M. le général Sébert, par une méthode analogue, analyse les phases du lancement des torpilles.

N° 8. Multiplication du nombre des images : 1° *Photographies partielles.* 2° *Dissociation des images devant le champ obscur.* 3° *Photographies sur une bande de pellicule en mouvement,* 1887-1888. — La parfaite analyse d'un mouvement exige que les images soient prises à des intervalles de temps très courts, mais pendant une durée aussi longue que possible. Si l'on se borne à accélérer la rotation du disque obturateur du chronophotographe, on augmente il est vrai le nombre des images, mais, comme la locomotion de l'animal n'est point pour cela accélérée, les images, au lieu de se former en des points différents, se superposent entre elles et tendent à se confondre comme on l'a vu figure 7.

Une première manière d'éviter cette confusion, c'est de ne pas photographier le sujet tout entier, mais seulement des points de son corps ou des lignes qui, par leurs positions dans les images, renseignent sur le mouvement que l'on veut connaître. Un homme complètement vêtu de noir (*fig. 10*), et par conséquent invisible devant le champ obscur, porte sur son corps des points brillants ou des lignes brillantes, petits galons d'argent fixés sur son costume au devant de l'axe



Fig. 10.

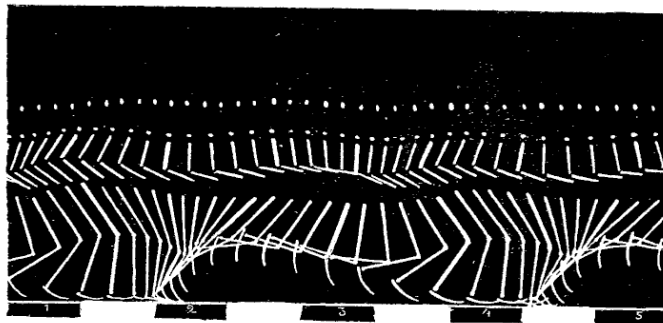


Fig. 11.

des membres. Ainsi équipé, cet homme passant au-devant de l'appareil donnera des images réduites à de véritables épreuves géométriques (*fig. 11*), montrant, sans confusion, comment se déplacent à chaque instant les bras, les cuisses, les jambes et les pieds; ces épreuves traduisent également les oscillations de la tête et de la hanche. Cette méthode a permis également l'étude de la plupart des mouvements articulaires.

Il était toutefois désirable de multiplier les images en conservant leur intégrité. Nous avons suppléé à la translation insuffisante du sujet par un déplacement imprimé à l'image sur la plaque photographique.

On peut arriver à ce résultat de diverses manières : d'abord en faisant pivoter le chronophotographe sur son support et en lui imprimant un mouvement autour d'un axe vertical. La difficulté de mouvoir régulièrement la masse considérable de l'appareil nous a fait remplacer cette méthode par l'emploi d'un miroir auquel un mouvement d'horlogerie imprime un déplacement régulier. L'image reflétée par le miroir dans l'objectif va se peindre sur la plaque sensible en des points toujours différents. On obtient de cette façon une série d'images, complètes et se succédant à des intervalles de temps très courts.

Mais si, avec le miroir tournant, la fréquence des images peut être grande, le nombre total en est restreint, car l'axe optique de l'instrument, se déplaçant le long du champ obscur, arrive bientôt à en atteindre la limite.

Une dernière solution se présentait, c'était de recueillir les images successives en des points différents d'une longue bande qui passerait indéfiniment au foyer de l'objectif, s'arrêtant un instant pour la prise de chaque image nouvelle.

Chronophotographie sur bande pelliculaire Marey, 1887. — L'invention du Kodak avait mis dans le commerce de longues bandes de papier au gélatino-bromure d'argent. Bientôt parurent les *films* transparentes plus avantageuses

encore pour le but que nous nous proposons : la chronophotographie en longues séries d'images sur une bande de pellicule en mouvement.

Trois modèles d'appareils étaient représentés dans la vitrine sous le n° 8. Ces appareils correspondaient à nos essais successifs.

Type a. L'appareil (*fig. 12*) fonctionnait dans la lumière rouge du laboratoire photographique, l'objectif est braqué au dehors au travers d'un pavillon en forme d'entonnoir. A la place

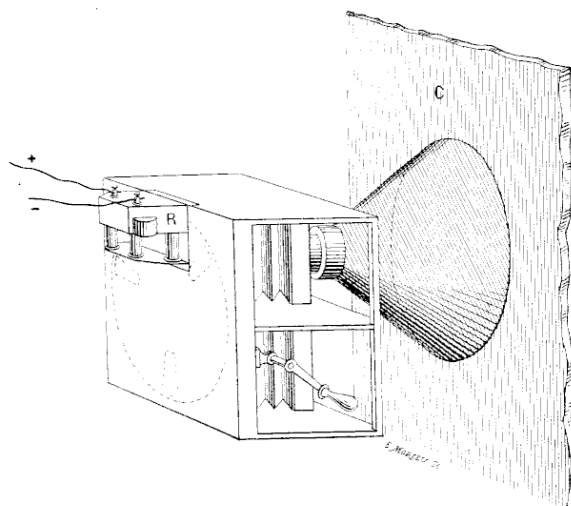


Fig. 12.

du châssis ordinaire on glissait une planchette sur laquelle était monté un rouage d'horlogerie R conduisant sur des rouleaux une longue bande de papier. La rotation du disque produisait, à chaque passage d'une fenêtre éclairante, un contact électrique pendant lequel un électro-aimant comprimait la bande et l'arrêtait.

Cet arrêt, très court, est nécessaire au moment de la prise d'une image.

Type b. Il fallait échapper au grand inconvénient de ne pouvoir photographier que de l'intérieur de la chambre noire ; nous fîmes alors une petite boîte portable B qui se chargeait dans le laboratoire, mais qu'on pouvait porter au dehors avec le chronophotographe lui-même, ainsi que cela se voit (*fig. 13*). Les résultats obtenus étaient déjà plus satisfaisants.

Type c. Enfin, renonçant à l'emploi de l'électricité, nous fîmes un appareil où les mouvements de la pellicule et ses arrêts n'étaient plus confiés à un rouage indépendant, mais étaient solidaires des mouvements du disque.

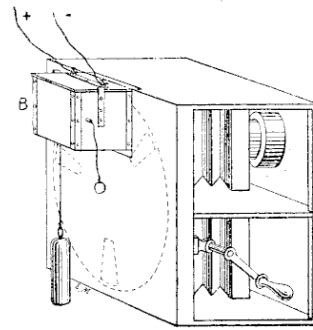


Fig. 13.

N° 9. Chronophotographe à double action. — Désirant réunir en un même appareil la double propriété de travailler sur plaque fixe ou sur bande pelliculaire mobile, nous construisîmes l'appareil représenté sous le n° 9 dans la vitrine. Cet appareil (*fig. 14*)

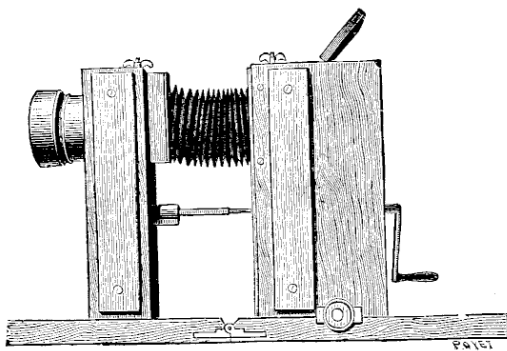


Fig. 14.

se compose d'un avant-corps qui glisse sur une coulisse et porte l'objectif coupé à son intérieur pour le passage du disque obturateur ; celui-ci est commandé par une tige à longueur variable pour permettre la mise au point et actionnée par le rouage situé à l'intérieur de l'arrière-corps.

Dans cet arrière-corps on peut, à volonté, placer un châssis simple pour la chronophotographie sur

plaque fixe, ou bien, supprimant le châssis, introduire les pellicules mobiles dans une chambre située plus en arrière et dont on voit le couvercle soulevé. Nous avons réussi à charger en pleine lumière les bandes pelliculaires, en les munissant de bandes de papier opaque qui les prolongeaient dans les deux sens (*fig. 15*). Enroulée sur sa bobine avant le chargement, la pellicule était protégée contre la lumière par l'une des bandes opaques : après avoir reçu les images, elle était également protégée par l'autre bande et pouvait être retirée de l'appareil sans se voiler.

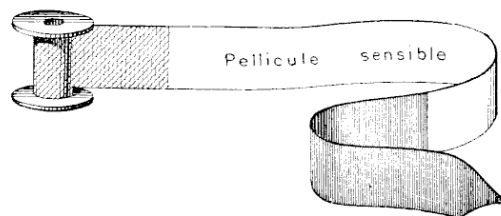


Fig. 15.

Cet appareil, d'un emploi facile, a suffi pendant trois ans à nos recherches sur le mouvement de l'homme et des animaux. Comme Muybridge, Anschütz et Demeny, nous avons cherché à obtenir par la méthode de Plateau la reproduction des mouvements analysés. A l'Exposition de 1889 un zootrope mû par l'électricité montrait des animaux en mouvement, des hommes, des oiseaux, des chevaux à diverses allures; mais le nombre, nécessairement restreint, des images contenues dans le zootrope ne permettait de voir que des actes très courts, à retours périodiques. Nous cherchâmes alors à obtenir des scènes de plus longue durée.

N° 10. *Projecteur chronophotographique*, 1893. — Cet appareil conduit une bande sans fin chargée d'images au foyer d'un objectif qui les projette sur un écran. La figure 16 montre la marche des rayons lumineux dans le projecteur. Un

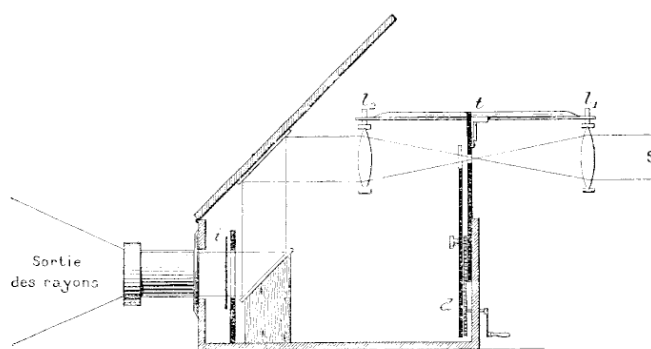


Fig. 16.

faisceau de rayons parallèles réfléchi par un héliostat arrive de S et tombe sur une lentille convergente l^1 ; ce faisceau concentré passe en t par un trou percé dans un diaphragme, rencontre le disque obturateur d qui tourne par une manivelle, le traverse à chaque fois que se présente une fe-

nêtre, puis diverge et rencontrant la lentille l^2 , pareille à la première, redevient parallèle et se réfléchit sur un miroir à 45° qui double le couvercle de la boîte; il est ensuite renvoyé verticalement sur un autre miroir de même inclinaison qui le dirige dans l'objectif. Dans ce dernier trajet le faisceau lumineux, devenu horizontal, traverse la pellicule i qui porte les images positives, et ces images, agrandies par l'objectif, sont projetées sur un écran.

Pour faire mouvoir la pellicule et l'arrêter à chaque éclaircissement, l'appareil renferme un mécanisme qui n'est pas représenté dans la figure et qui est très analogue à celui du chronophotographie simple, avec cette différence que la pellicule positive, étant refermée sur elle-même, en un ruban sans fin, se réfléchit sur une série de rouleaux qui la maintiennent tendue.

L'imperfection principale du projecteur chronophotographique était le sautellement des images projetées, dû à l'imparfaite égalité de leurs intervalles.

N° 11. *Kinétoscope d'Édison*, 1894. — M. Edison trouva une solution pour

donner aux images des intervalles réguliers : c'est de *perforer la pellicule sensible* par une série de trous équidistants et de la faire entraîner par un cylindre à chevilles. Nous n'avons pu nous procurer le kinétoscope pour le faire figurer dans la vitrine. Mais tout le monde a pu voir fonctionner, il y a quelques années, ce remarquable instrument qui permettait de voir des scènes animées se développer pendant une minute avec une précision parfaite. Dans l'appareil d'Édison, la bande pelliculaire ne s'arrêtait jamais ; la netteté des images était obtenue par la brièveté de l'éclairement, qui ne durait qu'un temps inappréciable, $1/7000^e$ de seconde. Un seul spectateur regardant par des oculaires pouvait voir les scènes animées du kinétoscope.

N° 12. Cinématographe de MM. Lumière, 1895. — Cet instrument donna enfin la solution cherchée, c'est-à-dire la projection sur un écran de scènes animées visibles pour un nombreux public et donnant l'illusion parfaite du mouvement. Le succès de cette invention fut immense et ne s'est pas ralenti.

La figure 17 montre le cinématographe ouvert et disposé comme pour la prise des images. Une pellicule perforée comme celle d'Édison est enroulée dans une boîte close *c'c* placée en haut de l'appareil ; elle passe d'une manière intermittente au foyer de l'objectif, ti-

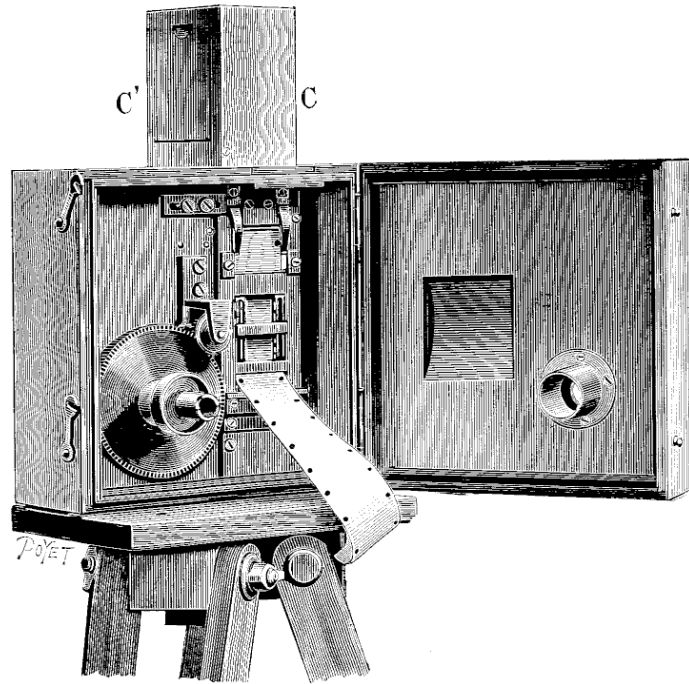


Fig. 17.

rée par un système de griffes qui entrent dans les perforations ; le va-et-vient de ces griffes donne à la pellicule sa marche intermittente. Une fois impressionnée, la pellicule est reçue dans une autre boîte fermée, invisible sur la figure. Il s'agissait de donner au mouvement des griffes qui saisissent la pellicule des vitesses d'arrêt et de départ aussi graduelles que possible, afin de ne pas produire de déchirures. MM. Lumière y sont arrivés en commandant ce mouvement par un excentrique triangulaire (*fig. 18*) qui est la pièce essentielle de l'appar-

reil. La période d'arrêt présente, comme durée, les deux tiers du temps total.

Pour la projection des images positives, MM. Lumière se servent d'un dispositif spécial. Une lampe électrique puissante éclaire vivement la pellicule. On peut obtenir de cette façon des projections très lumineuses dont les dimensions peuvent atteindre $7^m,75 \times 5^m,80$, les images positives n'ayant sur la pellicule que $25^{mm} \times 22^{mm}$. Dans la vitrine, à côté du cinématographe, plusieurs bandes positives, tirées sur papier, montraient la perfection et l'heureux choix des images obtenues avec cet instrument.

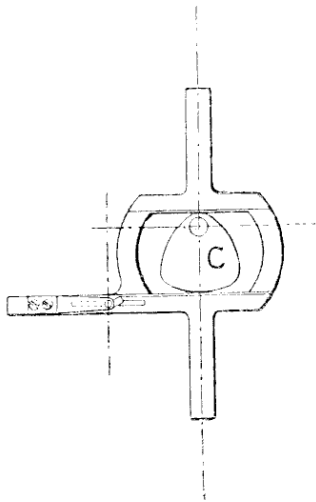


Fig. 18.

Le succès du cinématographe a fait naître une longue suite d'appareils destinés aux projections animées; la plupart sont très peu différents de l'instrument de MM. Lumière; on ne les avait pas exposés. Deux types toutefois se distinguent par leur originalité et méritent une mention spéciale.

N° 14. *Appareil du capitaine Gossart, à objectif oscillant, 1897.* — Cet instrument donne des images de très grandes dimensions; l'auteur l'a appliqué à l'étude des allures du cheval. De belles épreuves obtenues avec cet appareil étaient exposées. L'appareil ne se prête pas aux projections.

N° 15. *L'Alethorama de MM. Chéri-Rousseau et Mortier, 1897.* — C'est un appareil projecteur dans lequel des bandes pelliculaires perforées cheminent en réfléchissant leurs images sur une série de prismes. Les projections, très lumineuses et très fixes, sont d'un bel effet, mais l'appareil semble d'un réglage difficile; il ne paraît pas avoir été exploité.

N° 16. *Chronophotographe analyseur et projecteur; Marey, 1898.* — Nous avons poursuivi nous-même le perfectionnement de notre chronophotographe, afin d'obtenir la parfaite équidistance des images, et nous y sommes parvenu en conservant le principe de l'appareil, qui est de ne pas perforer les pellicules. Cette perforation, en effet, outre qu'elle se détériore et cesse de conduire régulièrement la succession des images, présente un autre inconvénient, celui de consommer une zone de 2 millimètres $\frac{1}{2}$ sur chaque bord de la bande. Cette perte devient d'autant plus importante qu'on emploie des pellicules moins larges. C'est en modifiant le premier laminoir qui entraîne les pellicules que nous sommes arrivé à la parfaite régularité de son mouvement dans la prise des images. L'appareil est représenté figure 19.

Pour les projections, une difficulté se présentait : la pellicule positive subit en général un certain retrait dans les développements successifs qu'exige son obtention. Dès lors, les images, trop rapprochées, défilent trop vite et tendent à sortir du champ de l'écran. Un simple freinage sur la bobine magasin corrige ce défaut.

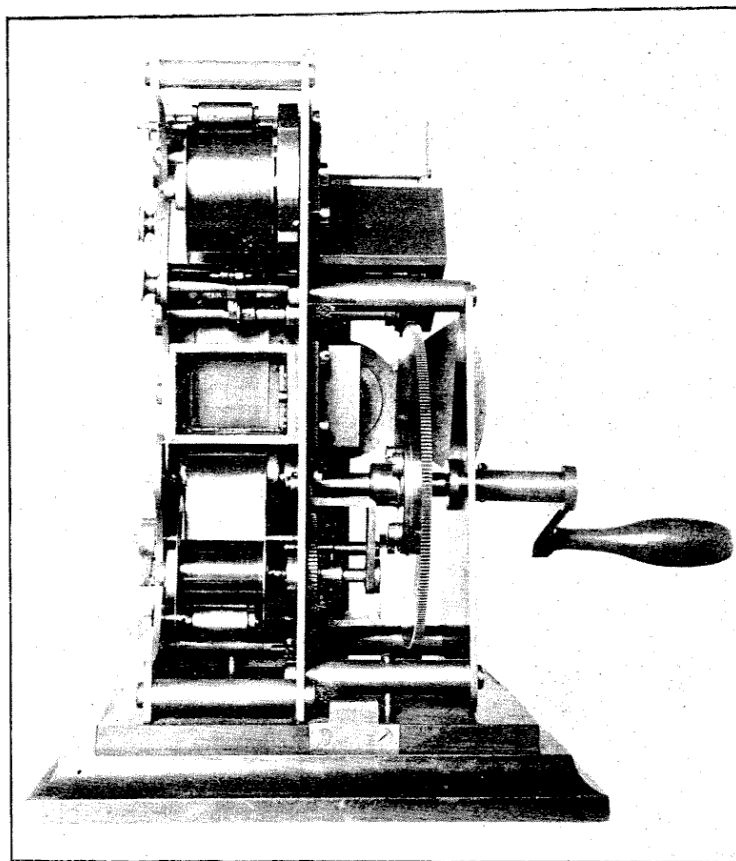


Fig. 19.

Des bandes positives de diverses largeurs étaient exposées; elles montraient la netteté et l'équidistance des images.

N° 17. *Chronophotographie microscopique*, 1899. — Nous avons adapté le chronophotographe à l'étude des mouvements qui se passent dans le champ du microscope.

Pour soustraire les animaux qu'on étudie à l'échauffement produit par la lumière concentrée, nous avons adopté une disposition dans laquelle le disque obturateur ne produit l'éclairement de la préparation que pendant le temps nécessaire à la prise des images, soit $1/500^e$ de seconde. Dès lors, la lumière la plus vive n'a plus d'effets nuisibles.

De nombreuses épreuves étaient exposées à côté de l'instrument.

N° 18. *Fusil chronophotographique à bande pelliculaire*, 1899. — Dans sa forme primitive, notre fusil photographique ne donnait qu'un nombre insuffisant d'images, 12 seulement. Désireux d'obtenir de longues séries d'images, nous avons construit un instrument d'un nouveau type (*fig. 20*) dans lequel une bande de 20 mètres

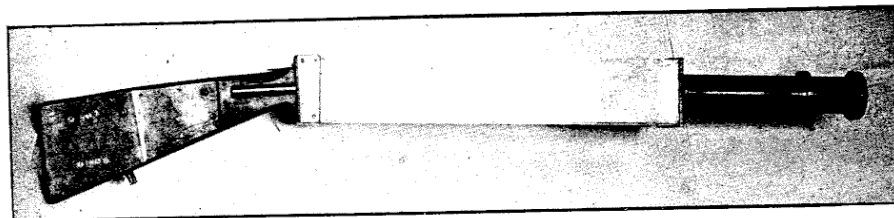


Fig. 20.

reçoit les images successives. L'obturateur est formé d'un robinet à lumière, bien moins encombrant que le disque. Dans la crosse, est un rouage mû par une dynamo. Chaque fois qu'on presse sur la détente, le courant se ferme et la pellicule prend son mouvement; elle s'arrête aussitôt qu'on cesse d'appuyer sur la détente. Des accumulateurs légers ou une pile portative fournissent le courant nécessaire.

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATIONS SCIENTIFIQUES DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE

Les projections animées, d'un intérêt si vif pour le public, n'ont, au point de vue scientifique, que peu d'avantages : elles ne donnent rien en effet que notre œil ne voie avec plus de netteté. Tout au plus peut-on demander aux projections de ralentir un mouvement s'il est trop rapide et de l'accélérer s'il échappe à l'observation par sa trop grande lenteur.

Dans le premier cas, on prend les images à des intervalles de temps très courts, 49 à 50 par seconde, et on les projette trois ou quatre fois plus lentement. On peut montrer ainsi un cheval qui galope ou un oiseau qui vole avec des mouvements assez lents pour que l'œil en puisse facilement suivre les phases. Dans le second cas, les images sont prises à des intervalles de temps très longs et projetées en un temps très court. Notre chronophotographe (*fig. 19*) présente à cet effet un axe sur lequel la manivelle appliquée ne prend qu'une image par tour. Les mouvements les plus lents et presque imperceptibles des nuages, pris à longs intervalles et projetés rapidement, se traduisent par une agitation rapide et saisissante.

Ce qui importe, en général, dans l'étude d'un mouvement, c'est d'en obtenir l'épure géométrique. Or on a vu que la chronophotographie sur plaque fixe donne directement cette épure : la chronophotographie sur pellicule mobile peut donner aussi des épures de ce genre, au moyen de certains artifices que nous décrirons.

La chronophotographie sur plaque fixe a fourni la solution expérimentale d'un grand nombre de problèmes de géométrie, de mécanique, de physique ou de physiologie que nulle autre méthode n'eût donnée aussi facilement.

Géométrie. *Formation dans l'espace des figures géométriques à trois dimensions.*

— Les géomètres définissent ces sortes de figures en disant qu'elles sont *engendrées* par des droites ou des courbes de diverses formes se déplaçant de diverses manières. La chronophotographie réalise cette conception d'une façon complète. Au-devant du champ obscur, une tige blanche, éclairée et soumise à un déplacement

dans l'espace, laisse sur la plaque photographique la trace de ses positions successives. Elle engendre sur le plan de cette plaque la projection de la figure à trois

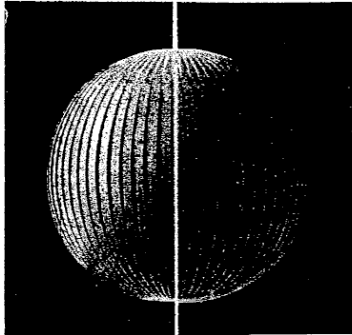


Fig. 21.

dimensions qu'elle a formée. C'est ainsi qu'on a obtenu (*fig. 21*) la projection d'une sphère sur un plan. Une bande de papier, blanche d'un seul côté et courbée en demi-cercle, tournait autour de sa corde. La figure ainsi formée aurait tout à fait l'aspect d'une sphère solide si une plus grande fréquence des éclaircissements eût empêché la discontinuité de la surface engendrée.

La figure 22, projection d'un hyperboloïde de révolution, a été engendrée par un fil obliquement incliné sur un arbre vertical autour duquel il tournait.

Vent-on obtenir ces figures avec leur relief; on les recueille avec un appareil stéréoscopique. La figure 23 montre ainsi un hyperboloïde et son cône asymptote. Ces exemples, empruntés à des cas fort simples de la géométrie, permettent d'imaginer quelle variété de formes on obtiendrait avec des courbes complexes soumises à des mouvements variés. Il y aurait là des *solutions expérimentales* très simples de problèmes de géométrie parfois très compliqués.

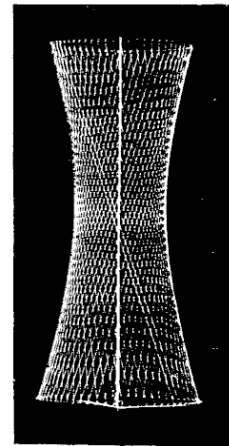


Fig. 22.

Mécanique. — La base de la mécanique est dans les lois du mouvement : lois des espaces parcourus, des vitesses et des accélérations. Les difficultés que Galilée et Atwood ont surmontées pour déterminer ces lois seront épargnées à l'avenir, dans tous les cas analogues, à ceux qui se serviront de la chronophotographie. Qu'on fasse tomber devant le champ obscur le corps dont on étudie le mou-

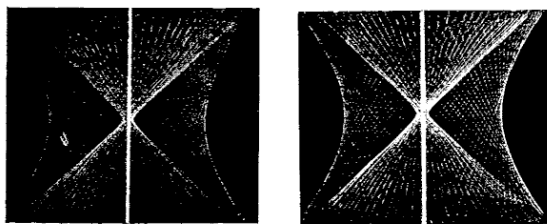


Fig. 23.

vement (*fig. 24*), les positions de ce corps se peindront d'elles-mêmes sur la plaque sensible : le chronographe fera connaître l'intervalle de temps qui sépare deux images consécutives; l'échelle métrique indiquera les espaces parcourus. Le même dispositif permet d'intéressantes études sur la résistance de l'air.

L'*hydrodynamique* passe pour une des sciences les plus compliquées; on discute

encore sur la nature des ondes, sur celle des vagues, sur les mouvements intérieurs des molécules dans un liquide agité, sur la façon dont se comportent les filets d'un courant d'eau lorsqu'ils rencontrent des obstacles de diverses formes. Tous ces problèmes trouvent dans la chronophotographie leur solution expérimentale.

Il s'agit de rendre visibles, et visibles seules, devant un champ obscur, les parties du liquide dont on veut connaître le mouvement. Pour cela, un canal formé de glaces transparentes reçoit de l'eau bien limpide. Un miroir incliné sous un angle convenable et placé sous ce canal reflète la lumière du soleil qui traverse de bas en haut la masse liquide. Celle-ci n'en est point éclairée, mais à la surface de l'eau, au point où la paroi de verre est mouillée par le liquide, un ménisque se forme et sa face inférieure convexe renvoie, par réflexion totale, un filet de lumière très vive qui ondule comme le niveau du liquide lui-même. L'objectif photographique peindra sur la plaque sensible l'image de cette ligne avec tous ses mouvements.

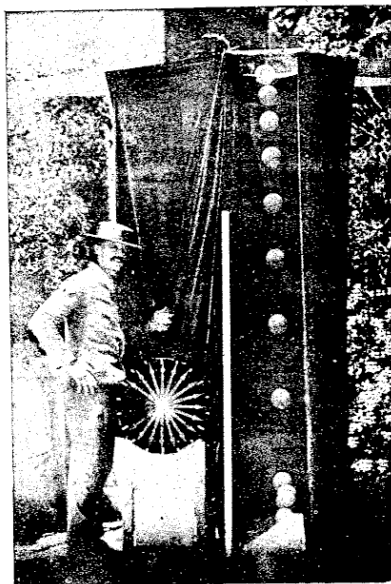


Fig. 24.

Mais l'intérieur du liquide reste non éclairé. Pour rendre visibles certains points de cette masse et saisir les déplacements qu'ils éprouvent, on met en suspension dans l'eau de petites perles argentées auxquelles on donne exactement la densité du liquide lui-même. Ces perles, par l'agitation qu'elles vont éprouver,



Fig. 25.

exprimeront le mouvement des molécules de l'eau en divers points de la masse (fig. 25).

D'autres phénomènes de même genre peuvent être étudiés par la chronophotographie. Ainsi un plan mince incliné étant présenté à un courant liquide, les

4.

perles brillantes exprimeront, par la direction de leur parcours, le mouvement des filets liquides; par l'écartement de leurs images elles exprimeront la rapidité du courant. Pour cela une échelle métrique immergée dans l'eau mesurera l'étendue de ces mouvements; d'autre part, l'intervalle connu qui sépare les

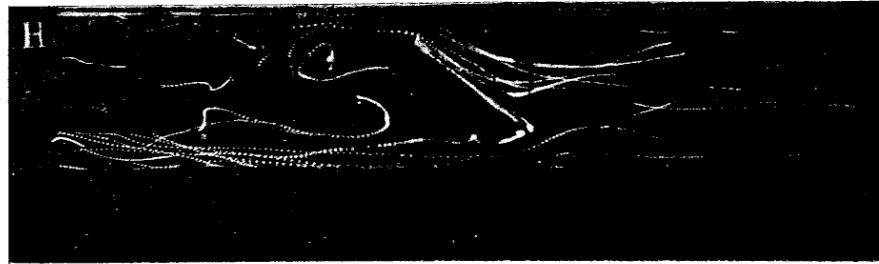


Fig. 26.

éclaircissements permettra d'en apprécier la vitesse. Cela dit, il suffit d'un coup d'œil sur l'épure (fig. 26) pour voir, dans les conditions les plus variées, les mouvements que présente le niveau des liquides et ceux des molécules elles-mêmes dans les divers points de la masse.

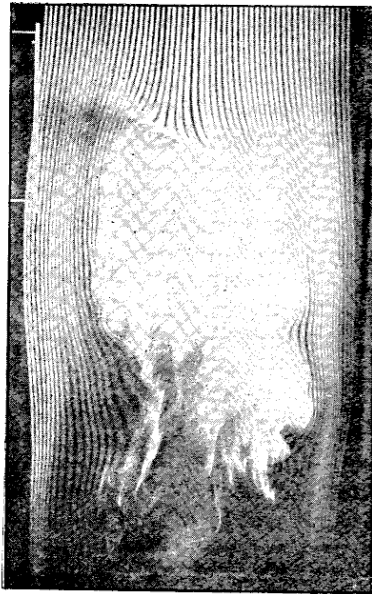


Fig. 27.



Fig. 28.

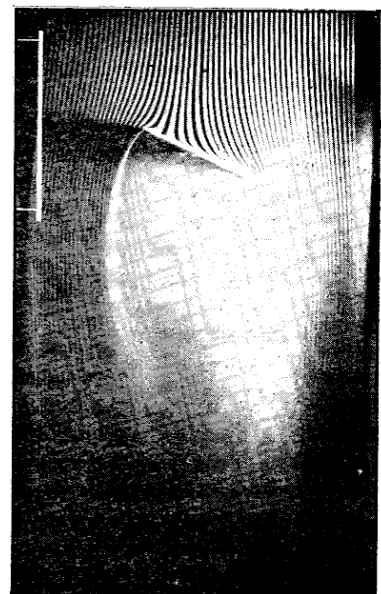


Fig. 29.

Mouvements de l'air. — Un dispositif analogue permet de rendre visibles, au moyen de fumée, certains filets d'air au milieu d'un courant régulier. On fixe alors par la chronophotographie les changements de direction et de vitesse de ce courant lorsqu'il rencontre des obstacles de différentes formes.

Dans un large canal à parois de glaces et devant un champ obscur, on fait un appel d'air au moyen d'un ventilateur. Pour régulariser ce courant, on le filtre au travers d'une gaze de soie très fine. En haut du canal, on dégage, par une série de petits tubes, des filets de fumée qui descendent parallèles entre eux comme les cordes d'une lyre. Vient-on à placer à l'intérieur du canal des obstacles de diverses formes, aussitôt on voit les filets s'infléchir sur ces obstacles, glisser sur eux et former en arrière des remous de formes variées. Les figures 27, 28 et 29 montrent la même expérience photographiée dans des conditions différentes.

Dans la figure 27, un éclair magnésique illumine pendant un temps très court le phénomène. On voit comment les filets d'air lèchent le plan, glissent sur lui et forment en arrière des remous.

La figure 28 montre le même phénomène avec indications chronophotographiques. On a fait vibrer dix fois par seconde la série de petits tubes qui apportent la fumée; celle-ci ne forme plus des filets rectilignes, mais des ondulations sinusoïdales plus ou moins allongées, en chaque point, suivant la vitesse du courant. Le mouvement se ralentit contre l'obstacle et s'accélère en dehors de lui. On voit que les notions de temps et d'espace qui caractérisent la chronophotographie sont réunies dans cette expérience.

Enfin dans la figure 29 on a supprimé la chronographie; au lieu de l'éclairage instantané, on a illuminé le phénomène par la combustion prolongée d'un fil de magnésium et l'on voit en quelque sorte l'état moyen du courant d'air.

Résistance de l'air aux appareils ventilateurs. — L'une des applications des expériences précédentes est de faire comprendre l'action de l'air sur les ap-

pareils de formes diverses qui se déplacent dans ce fluide. La figure 30 montre d'une façon plus directe les effets de cette résistance; on y voit comment se

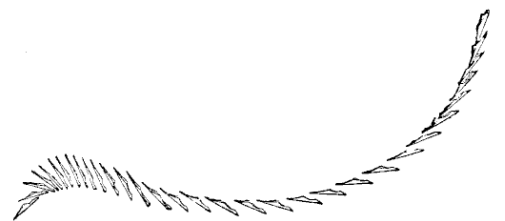


Fig. 30.

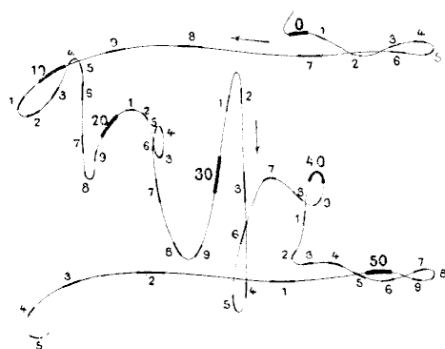


Fig. 31.

comporte un petit planeur en papier abandonné d'abord à sa chute verticale et qui reçoit de la résistance de l'air des changements de direction et de vitesse dont les caractères sont fidèlement représentés.

Vibrations des cordes. — Ces mouvements sont faciles à saisir sur des cordes brillantes vibrant devant le champ obscur. Notre savant confrère A. Cornu a réussi, par cette méthode, à rendre saisissables, dans

une corde, des vibrations de trois ordres : les unes longitudinales, les autres transversales, enfin des vibrations de torsion.

Un petit miroir très léger posé sur la corde indiquait ces trois ordres de mou-

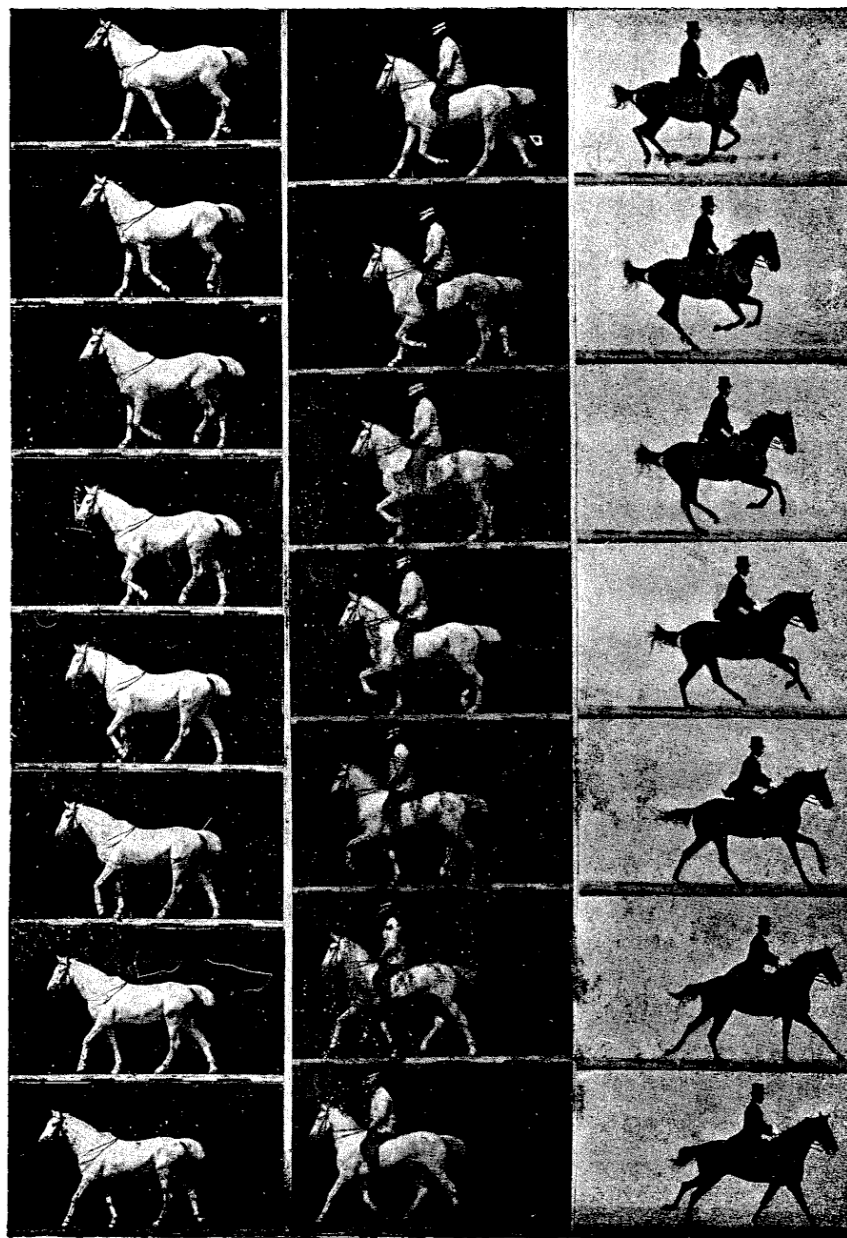


Fig. 32.

Fig. 33.

Fig. 34.

vements sur une plaque animée d'une translation uniforme. La figure 31 est l'épreuve négative obtenue dans cette expérience.

Physiologie. — C'est à l'étude physiologique des diverses allures des animaux et aux mouvements fonctionnels de leurs divers organes, que la chronophotographie a été principalement appliquée. Nous donnerons quelques types des expériences qu'elle a permis de réaliser.

Locomotion terrestre. — Les séries d'images recueillies sur pellicules mobiles ont traduit toutes les phases des mouvements de l'homme et des quadrupèdes.

Ainsi les figures 32, 33 et 34 représentent les trois allures normales du cheval; on y suit aisément la succession des attitudes et la progression de l'animal. La succession des images se lit de haut en bas.

Dans un cas litigieux de mécanique animale, il s'agissait de savoir s'il est vrai qu'un chat se retourne en tombant et comment ce mouvement s'exécute sans point d'appui extérieur. L'expérience a montré la réalité de ce fait et a fourni aux mécaniciens l'occasion de corriger une erreur ayant cours dans les traités classiques.

La *locomotion dans l'eau* a été aussi étudiée sur des images pelliculaires; nous avons rapproché ces images les unes des autres afin d'en rendre la comparaison plus facile. La locomotion de l'anguille (*fig. 35*) montre la progression des ondulations du corps de l'animal allant de la tête à la queue; des lignes directrices indiquent le sens de ce mouvement ainsi que la progression de l'animal.

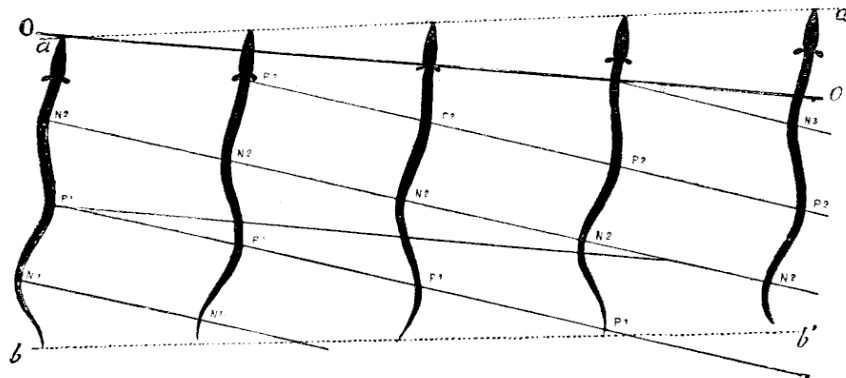


Fig. 35.

Chez certains poissons, les ondulations se font dans les nageoires latérales. La raie (*fig. 36*) est représentée de côté, nageant sur place, sa progression étant entravée. Le même poisson, lorsqu'il est vu de face, a des mouvements qui rappellent beaucoup ceux d'un oiseau qui vole.

Locomotion dans l'air. — De même que le vol des oiseaux, celui des insectes étudié par la chronophotographie montre les détails de son mécanisme. L'extrême rapidité de ces mouvements (plusieurs centaines par seconde) exige dans la prise des images des temps de pose extrêmement courts. Pour n'avoir pas de flou dû à la vitesse de l'aile, nous avons réduit la durée de l'éclairement à moins de

1/20000° de seconde; encore ne peut-on obtenir que des images isolées, mais fort instructives. La figure 37 montre une tipule immobile; la figure 38 la montre au vol. On voit comment l'aile se tord sous la résistance de l'air, phénomène que la théorie nous avait fait prévoir et qui explique le mécanisme du vol des insectes.

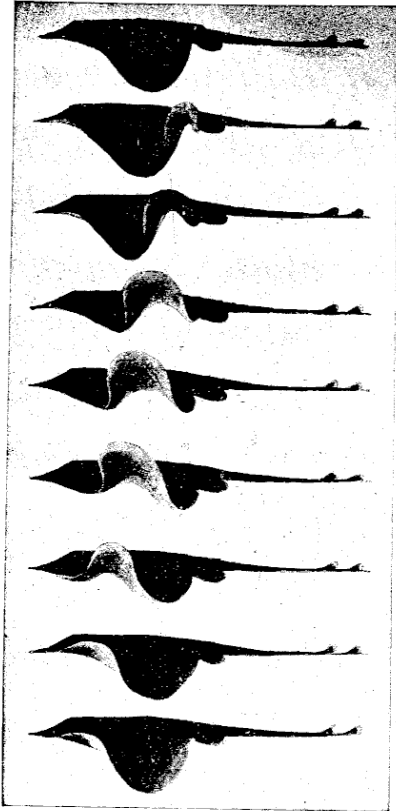


Fig. 36.



Fig. 37.

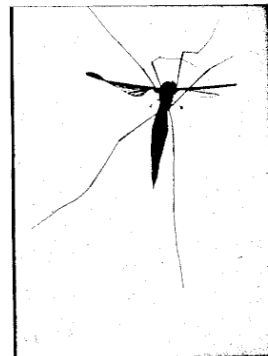


Fig. 38.

respiration, se soulèvent et s'écartent d'une manière autrefois inconnue. Dans certaines articulations des membres, les os se meuvent autour d'un centre fixe; dans d'autres un roulement se passe entre les condyles et la surface en contact avec eux. La chronophotographie sur champ obscur donne l'épure de tous ces mouvements. Des lignes ou des points brillants rendus solidaires de l'organe exploré en traduisent la trajectoire sur la plaque photographique.

Ainsi les mouvements du maxillaire inférieur, dans l'acte d'ouvrir la bouche, sont représentés (*fig. 39*) par ceux d'une tige courbée à angle et assujettie à se mouvoir avec le maxillaire. On voit que ce mouvement ne se fait pas autour de l'articulation, mais autour de centres instantanés situés dans la branche montante, tandis que le condyle lui-même glisse sur la surface, convexe par en bas, de la cavité glénoïde.

Dans la respiration, des points brillants appliqués sur les côtes et se déplaçant avec elles traduisent les mouvements en arc de cercle des côtes qui se soulèvent.

Le cœur d'un animal, mis à nu et vivement éclairé, donne sur pellicule mobile la succession des systoles et des diastoles de ses oreillettes et de ses ventricules. Les mouvements des yeux eux-mêmes ont été étudiés à la Station physiologique par M. Orchansky. Celui-ci a chronophographié la trajectoire saccadée que suivent les yeux pendant la lecture, et, dans ce mouvement, il a su faire la part de ce qui appartient aux muscles oculaires et, de ce qui revient aux déplacements de la tête.

Mouvements de l'air dans l'émission des

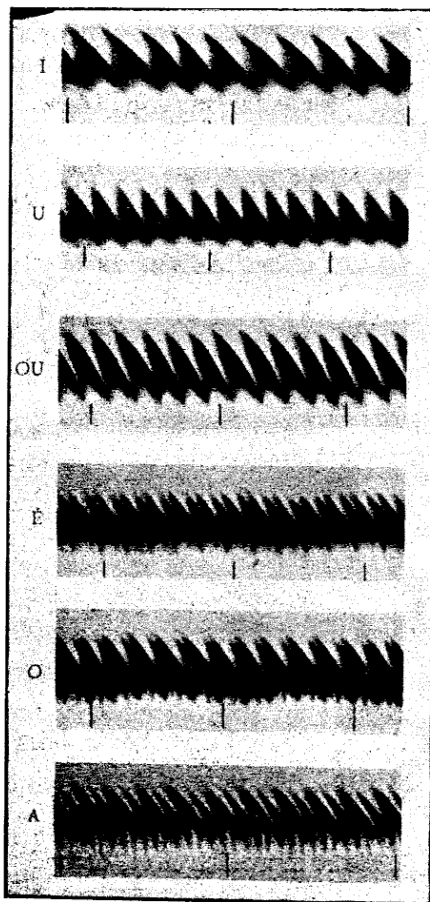


Fig. 40.

de deux mètres par seconde. La figure 40 montre les vibrations de l'air par les voyelles *i*, *u*, *ou*, *e*, *o*, *a*. En même temps que les vibrations des voyelles on pho-



Fig. 39.

voelles. — L'éminent physicien R. Koenig a imaginé de faire agir sur des capsules à parois membraneuses placées sur de petits becs de gaz les vibrations sonores des instruments ou de la voix. Ces *flammes manométriques* vibrent à l'unisson des ondes sonores; leurs images, dissociées dans un miroir tournant, apparaissent avec des dentelures de formes variées suivant le son émis. Mais ce phénomène fugitif ne pouvait être fixé par la photographie. M. Marage, qui dirige à la Station physiologique les travaux d'acoustique, a rendu ces flammes photogéniques en substituant l'acétylène au gaz d'éclairage, et en a recueilli les images, par la chronophotographie, sur une bande de papier sensible animé d'une translation

tographie celles d'un bec spécial actionné par un diapason de 45 V. D. qui sert de chronographe pour déterminer la tonalité du son.

Épures des mouvements formées d'après des images séparées. — Les documents si complets que donne la chronophotographie sur pellicule mobile sont difficiles à utiliser à cause de la difficulté de comparer les images séparées. On facilite, dans certains cas, cette comparaison en rapprochant ces images les unes des autres; mieux vaudrait pouvoir les disposer, chacune à sa place, en une épure unique.

Nous avons obtenu ce résultat au moyen de projections et de décalques successifs des images sur une même feuille de papier.

Soit un gymnaste qui lance un poids; projetons une première image du sujet



Fig. 41.

et décalquons avec soin le contour du corps. Après cette première projection, faisons-en une seconde, puis une troisième en repérant exactement chacune d'elles sur des points fixes que nous avons choisis. Nous obtiendrons ainsi une série de décalques représentant les attitudes successives du gymnaste. La figure 41 a été ainsi obtenue; elle renseigne

complètement sur l'étendue et la vitesse de chacun des mouvements représentés.

Dans ce cas on n'a dessiné qu'une image sur trois, pour éviter la confusion dans l'épure. Mais on pouvait, tout en réduisant le nombre des images de l'athlète, représenter entièrement les positions successives du poids qui eussent alors été fort nombreuses. La série de ces positions eût donné la loi du mouvement imprimé au projectile et l'accélération eût donné, à son tour, la mesure des forces à chaque instant développées par le gymnaste.

On peut encore pousser plus loin l'analyse des actions musculaires et, dans des épures successives, déterminer non seulement les attitudes d'un membre, mais les positions du squelette à son intérieur avec les phases d'allongement ou de raccourcissement des muscles dont on connaît les insertions sur le squelette. La figure 42 renferme tous ces détails.

Cette dernière application de la chronophotographie est parfois assez laborieuse.

Nous ne la citons que pour montrer l'extrême puissance de la méthode et la multiplicité de ses applications.

Enfin, depuis la clôture de l'Exposition, de nouvelles applications ont été

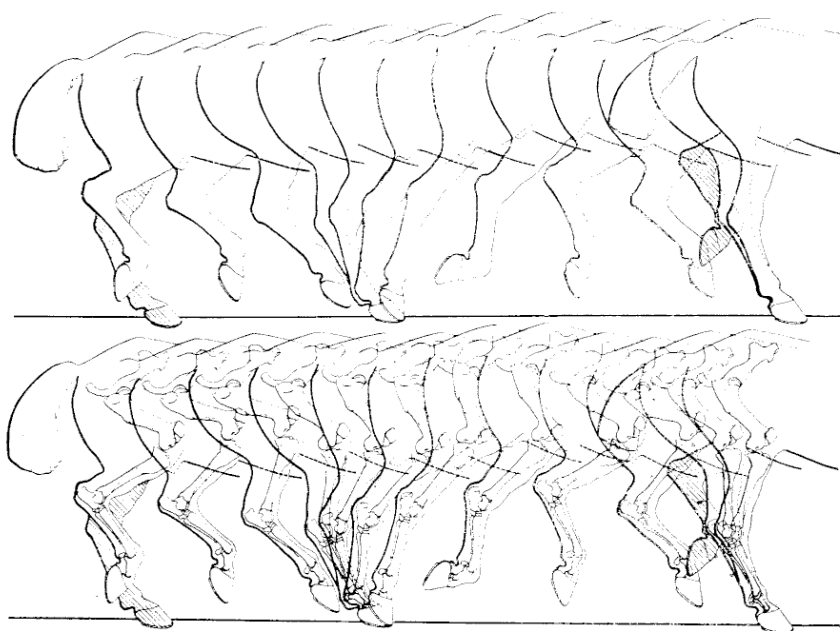


Fig. 42.

faites à la Station physiologique, et promettent la solution expérimentale de problèmes qu'on eût autrefois considérés comme insolubles.

MAREY,
de l'Institut,
Président de la Classe 12.

SAINT-CLOUD. — IMPRIMERIE BELIN FRÈRES.