

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre ([www.eclydre.fr](http://www.eclydre.fr)).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](https://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Auteur(s)</b>	<b>Magnan, Antoine (1881-1938)</b>
<b>Titre</b>	<b>Premiers essais de cinématographie ultra-rapide</b>
<b>Adresse</b>	<b>Paris : Hermann &amp; Cie, éditeurs, 1932</b>
<b>Collection</b>	<b>Actualités scientifiques et industrielles, 35 Exposés de morphologie dynamique (Mécanique du mouvement), 1</b>
<b>Collation</b>	<b>1 vol. (26 p.-14 f. de pl.) : ill. ; 26 cm</b>
<b>Nombre de vues</b>	<b>62</b>
<b>Cote</b>	<b>CNAM-BIB 8 B 83 (35)</b>
<b>Sujet(s)</b>	<b>Chronophotographie Cinéma -- Applications scientifiques Cinéma -- Technique</b>
<b>Thématique(s)</b>	<b>Technologies de l'information et de la communication</b>
<b>Typologie</b>	<b>Ouvrage</b>
<b>Langue</b>	<b>Français</b>
<b>Date de mise en ligne</b>	<b>21/01/2021</b>
<b>Date de génération du PDF</b>	<b>06/02/2026</b>
<b>Recherche plein texte</b>	<b>Disponible</b>
<b>Notice complète</b>	<a href="https://www.sudoc.fr/022612424">https://www.sudoc.fr/022612424</a>
<b>Permalien</b>	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?8B83.35">https://cnum.cnam.fr/redir?8B83.35</a>

8° B. 83 / 35

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

XXXV

# EXPOSÉS DE MORPHOLOGIE DYNAMIQUE

(Mécanique du mouvement)

Publiés sous la direction de

**M. A. MAGNAN**

Professeur au Collège de France.



I

PREMIERS ESSAIS

DE

# CINÉMATOGRAPHIE

## ULTRA-RAPIDE

PAR

**M. A. MAGNAN**



PARIS

**HERMANN ET C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS**

6, Rue de la Sorbonne, 6

1932







8 B. 83

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

XXXV

**EXPOSÉS DE MORPHOLOGIE DYNAMIQUE**

(Mécanique du mouvement)

Publiés sous la direction de

**M. A. MAGNAN**

Professeur au Collège de France



I

**PREMIERS ESSAIS**

DE

**CINÉMATOGRAPHIE**

**ULTRA-RAPIDE**

PAR

**M. A. MAGNAN**



PARIS

**HERMANN ET C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS**

6, Rue de la Sorbonne, 6

1932

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation  
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1932 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C<sup>ie</sup>,  
PARIS.



## INTRODUCTION

---

**J**USQU'À présent, on sait peu de choses sur la mécanique du mouvement des êtres vivants dans les fluides.

Bien des idées inexactes ont été émises sur la façon dont se déplacent les poissons dans l'eau, les oiseaux ou les insectes dans l'air.

L'Hydrodynamique et l'Aérodynamique ont déjà fait l'objet d'études mathématiques souvent très poussées en ce qui concerne les bateaux, les sous-marins ou les avions; il semble bien cependant que les théories n'ont pas toujours fourni ce qu'on en attendait au point de vue pratique, car il ne paraît guère possible, en l'état actuel de nos connaissances, de déterminer par l'application de ces seuls travaux théoriques la meilleure forme à donner à un corps en mouvement ou de calculer, entre autres, la résistance qu'il éprouvera de la part du fluide dans lequel il se déplace. D'autre part les études expérimentales sur les mêmes sujets, bien que déjà nombreuses, n'ont pas toujours apporté de solutions définitives, en raison particulièrement de l'incertitude qui règne sur la signification des lois de similitude mécanique.

En ce qui concerne les êtres vivants : poissons, oiseaux et insectes, on est encore moins avancé, car on n'a pas pu par le calcul expliquer pourquoi le poisson nage ni pourquoi l'oiseau ou l'insecte vole. Au point de vue expérimental nos connaissances sur cette question ne sont pas beaucoup plus étendues.

*Il est vrai que de telles études sur les êtres vivants ne pouvaient guère être entreprises avant la réalisation du cinématographe courant, qui est assez récente.*

*L'étude des formes elles-mêmes, au repos d'abord, en mouvement ensuite, n'est pas, elle non plus, très poussée, qu'il s'agisse des divers types de nage des poissons ou des divers modes de vol des oiseaux ou des insectes.*

*Quant à la mécanique animale, à part les recherches de Marey ou quelques travaux de détail d'ordre médical ou artistique, elle n'a pour ainsi dire jamais été étudiée.*

*Il nous a paru que cette morphologie dynamique générale et cette mécanique méritaient d'être examinées en détail et présentées au grand public scientifique et c'est là une des raisons de cette collection.*

*En principe, nous avons l'intention de ne publier que les travaux provenant de recherches personnelles; cependant soucieux avant tout d'aider les chercheurs, nous ne nous interdirons pas les mises au point quand elles nous paraîtront indispensables pour certains sujets. Nous savons trop par expérience personnelle combien l'absence de documents peut dans certains cas retarder les travaux et gêner les expérimentateurs.*

*Nous sommes reconnaissants à la maison Hermann d'entreprendre la publication d'une telle série sur la morphologie dynamique et la mécanique du mouvement dans les fluides. Nous pensons que, par là, de réels services seront rendus à tous ceux qu'intéressent ces problèmes et qu'il en résultera des progrès pour le plus grand bien de la recherche scientifique pure d'une part et des applications industrielles, par exemple de l'aviation, d'autre part.*

A. M.

---

# PREMIERS ESSAIS

## DE CINÉMATOGRAPHIE ULTRA-RAPIDE

(2.000 à 3.000 vues par seconde)

Leçon faite au Collège de France, le 10 décembre 1931

---

Jusqu'à l'époque de Marey qui fut l'un des Maîtres illustres du Collège de France, l'étude des oiseaux s'était faite par l'observation. C'était avec leurs yeux que les naturalistes qui s'intéressaient au mystère du vol animal cherchaient à connaître les diverses phases du mouvement des ailes; on comprend fort bien maintenant l'impossibilité où ils se sont trouvés de définir convenablement ce mouvement qu'ils ne pouvaient décomposer ainsi.

Des travaux de Marey, puis de Lumière, naquit le cinématographe actuel, malgré les difficultés très grandes que rencontrèrent les savants et les techniciens pour réaliser les appareils de prises de vues et les appareils de projection qui permettent maintenant de reproduire des scènes animées dans des conditions vraiment parfaites.

Lorsque le mouvement des sujets étudiés est assez lent, la projection des films pris à raison de 16 à 24 images à la seconde ne laisse en général rien à désirer parce que les images sont nettes. Mais quand il s'agit de reproduire le mouvement des ailes d'un oiseau en vol, les vues obtenues dans ces conditions sont floues, étant donnée la grande vitesse des extrémités des ailes.

D'autre part la fréquence de prises de vues est trop faible pour que le nombre d'images suffise à l'analyse du mouvement de l'aile.

Si le cinéma de prises de vues, donnant 16 images à la seconde enregistre des coups d'ailes dont la fréquence est aussi égale à 16 par seconde, l'oiseau paraîtra immobile sur l'écran. Dans certaines conditions, il pourra même paraître battre à l'envers, de

la même manière que les roues d'automobile, qui semblent tourner en sens inverse, ce qui est choquant pour l'œil surtout lorsqu'elles possèdent des rayons bien visibles.

Ce cas se présente précisément pour les petits oiseaux qui donnent de 15 à 20 coups d'ailes par seconde.

On s'aperçoit donc vite de l'intérêt qu'il y a à avoir un très grand nombre d'images par seconde, si l'on veut que l'analyse du mouvement soit possible et si l'on veut aussi qu'à la projection l'illusion du mouvement soit bonne; ceci montre que les appareils cinématographiques comme les autres appareils de physique doivent avoir une fréquence d'enregistrement très supérieure à celle des phénomènes étudiés.

#### PREMIÈRE RÉALISATION DE CINÉMATOGRAPHE RAPIDE.

Déjà Marey avait cherché à créer des appareils de prises de vues rapides et il était parvenu à obtenir jusqu'à 50 images par seconde.

*Appareil de Guillet.* — En 1902, A. Guillet (1) réalisait un cinématographe d'un principe nouveau, en vue d'accroître le nombre d'images par seconde.

Dans le modèle qu'il fit construire alors, une roue cylindrique de 177 millimètres de diamètre porte sur sa surface latérale 50 miroirs argentés sur leur face supérieure. Ces miroirs forment par leur ensemble un prisme dont chaque face a 30 millimètres de longueur et 12 millimètres de largeur.

Chacun des miroirs est monté sur une plaquette prenant appui sur trois petits ressorts que des vis correspondantes permettent de comprimer plus ou moins.

En agissant sur ces organes de réglage, on dispose tous ces miroirs de façon qu'ils soient tous parallèles à l'axe du tambour qui les porte et qu'un des miroirs prenne exactement la place qu'occupait le précédent, lorsque le tambour tourne d'un angle égal à  $1/50$  de tour, soit  $7^{\circ} 12'$ .

---

(1) A. Corron. — Sur un cinématographe à mouvement continu réalisé par M. A. Guillet en 1902. *Recherches et inventions*. N° 151, 1927.

La figure 1 montre qu'un rayon lumineux, représenté en  $Am$ , provenant d'un point lumineux, et réfléchi sur un des miroirs figuré en  $m$ , tourne dans le plan de la figure avec une vitesse angulaire double de la vitesse angulaire du tambour.

Les rayons ainsi réfléchis sont reçus par un objectif  $O$ , d'une distance focale  $f$  égale à environ 5 centimètres. Dans le plan focal

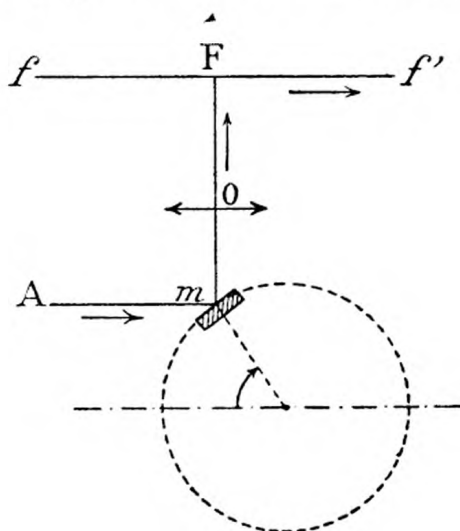


Fig. 1. — Schéma du dispositif cinématographique de A. Guillet.

de cet objectif, en  $F$ , se forme à l'intérieur d'une fenêtre rectangulaire fixe, l'image de la scène éloignée à reproduire.

Cette image se déplace avec une vitesse constante si la vitesse angulaire du tambour est uniforme dans le plan  $ff'$ . Or, dans ce plan, se trouve la bande pelliculaire qui passe tendue et guidée par un cadre et ce film se déplace lui aussi dans le sens  $ff'$ ; si la vitesse de déplacement du film est égale à la vitesse de l'image, celle-ci se fixe alors nettement sur la couche sensible.

L'appareil construit comprenait un tambour, portant les miroirs, la glissière horizontale supérieure où circulait le film, un magasin qui le contenait et une manivelle qui commandait le mouvement.

A l'extérieur du bâti de l'appareil se trouvait une roue munie de 360 dents, calée sur l'axe du tambour à miroirs. Cette roue engrenait avec une seconde roue portant 101 dents, calée sur l'axe

d'un tambour à crans ainsi que la manivelle servant à entraîner la bande pelliculaire. De la sorte, le même mouvement produisait le déplacement angulaire des miroirs et le déplacement de la pellicule.

Ce cinématographe permettait d'obtenir régulièrement 50 images par tour de manivelle.

*Appareil de Noguès.* — En vue de l'étude du vol des oiseaux, Noguès (1) étudia et fit construire à l'Institut Marey un cinématographe permettant de prendre environ 250 images par seconde et qui a rendu de grands services aux chercheurs.

Dans cet appareil, le film est tiré de sa boîte-magasin par un cylindre broché. Il passe ensuite dans un couloir percé d'une fenêtre où se fait l'impression, puis il est repris par un second cylindre broché et rentre dans sa boîte réceptrice où un axe à friction l'enroule à nouveau.

L'entraînement de la pellicule se fait au moyen d'une came de Demeny, placée entre la fenêtre et le cylindre broché inférieur. Le film passe autour de cette came qui, pendant une partie de sa rotation, exerce une traction supplémentaire sur la pellicule; celle-ci est tirée d'une plus grande longueur que celle fournie par le second cylindre broché. La came cessant d'agir, le cylindre entraîne l'excédent du film accumulé après la fenêtre tandis que la portion, située devant la fenêtre, reste immobile et est impressionnée.

La difficulté était d'arrêter le film avec précision à l'endroit où l'image doit être prise en raison de la grande vitesse de déroulement du film qui peut atteindre ici 4 à 5 mètres et ne peut être freinée par simple frottement dans le couloir.

Noguès a obtenu cet arrêt précis avec une pièce métallique contre laquelle le film lancé par la came vient buter. La force vive est absorbée par le choc et la précision du point d'arrêt est alors assurée par une paire de griffes en acier qui s'engage dans les perforations du film et l'immobilise complètement.

Bien que de tels cinématographes permettent de prendre 200 vues à la seconde et même 250, pendant un laps de temps réduit d'ailleurs, de l'ordre de 3 secondes pour des appareils similaires comme le « Debric » et au moyen d'un moteur imposant,

---

(1) Voir BULL. — La Cinématographie. Colin, Paris, 1928.

ils ne fournissent pas d'images nettes de manière constante dans l'étude du mouvement des ailes de n'importe quel oiseau en raison la grande vitesse du bout de l'aile. C'est ainsi que des images de canard qui frappe 13 coups d'ailes par seconde, prises avec un Noguès à l'allure de 180 vues à la seconde, se révèlent bonnes et nettes au début de l'abaissée et au commencement de la relevée, mais elles sont floues au milieu de ces 2 mouvements. La fréquence d'enregistrement est donc encore ici trop faible.

S'il s'agit d'étudier les mouvements d'ailes d'un insecte, de tels appareils sont presque toujours insuffisants, puisqu'une mouche par exemple donne environ 200 battements par seconde.

#### DISPOSITIFS CHRONOPHOTOGRAPHIQUES.

C'est pourquoi d'autres méthodes d'enregistrement des mouvements sont intervenues.

*Appareil de Marey.* — Déjà en 1892, Marey avait créé un dispositif pour arriver à l'étude du vol des Insectes (1).

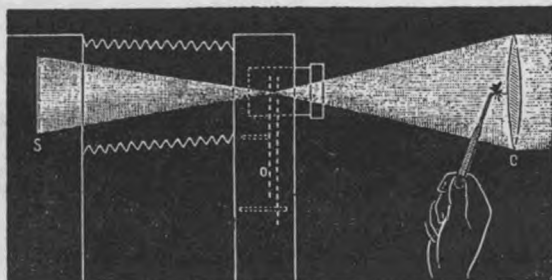


Fig. 2. — Schéma du dispositif de Marey pour l'étude du vol des insectes.

La figure 2 représente théoriquement la disposition à laquelle Marey a eu recours. On y voit d'abord de droite à gauche, le faisceau de lumière parallèle qu'un héliostat dirige suivant l'axe optique principal du photochronographe. Le faisceau est concentré par la lentille O derrière laquelle s'aperçoit l'insecte maintenu captif à

(1). MAREY. — La Photographie du mouvement. G. Carré, Paris, 1892.

l'extrémité d'une pince. Le faisceau concentré traverse la première lentille de l'objectif et ses rayons convergent sur les disques obturateurs *o*; ils traversent les disques au moment de la coïncidence des fenêtres et vont former sur la pellicule sensible *S* un champ lumineux au milieu duquel se détache en silhouette l'image de l'animal.

Cette disposition a fourni de bonnes images avec des temps de pose de  $1/2500^{\circ}$  de seconde.

*Appareil de Bull.* — Bull fit faire de grands progrès à l'analyse du mouvements des ailes des insectes en créant un appareil d'une conception nouvelle (1).

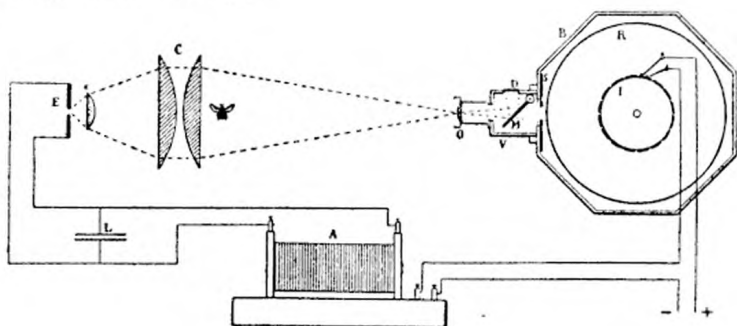


FIG. 3.

Fig. 3. — Schéma du dispositif de Bull pour l'étude du vol des insectes.

Celui-ci se compose essentiellement d'une roue *R* autour de laquelle on dispose une pellicule sensible (fig. 3). Un moteur électrique imprime pendant l'expérience un mouvement de rotation rapide à cette roue.

Un interrupteur rotatif *I*, monté sur l'axe de la roue, rompt un certain nombre de fois, pendant chaque tour, le circuit primaire d'une bobine d'induction *A*. Chaque rupture de circuit produit en *E*, derrière le concentrateur *C*, une étincelle réduite. Ce concentrateur fait converger les rayons lumineux dans l'objectif *O*, au foyer duquel se déplace la pellicule.

Quand l'instrument est en mouvement, les étincelles jaillissent en succession d'autant plus rapide que la roue tourne plus vite. Chaque étincelle impressionne la portion de bande sensible qui se

(1). BULL. — La Chronophotographie des mouvements rapides. Institut Marey. T. II. Masson, Paris.

trouve au moment même en face de l'objectif. Il suffit par conséquent pour obtenir sur la pellicule une série d'images d'un objet situé devant le concentrateur, de démasquer l'objectif pendant la durée d'un tour complet de la roue.

La roue est construite en carton et a un diamètre de 34,5 cm.; elle peut donc recevoir une pellicule de 1 m. 08 de long sur laquelle on obtient 54 photographies de même format que les images des cinématographes ordinaires.

Afin de pouvoir opérer en plein jour, la roue est enfermée dans une boîte B de forme octogonale dont la moitié supérieure est démontable pour permettre le changement de la pellicule. L'objectif est monté sur une petite chambre V, en bois. Cette chambre constitue le viseur de l'appareil et contient un miroir M qui, dans la position où il est représenté sur la figure, réfléchit l'image sur une fenêtre en verre dépoli D située au-dessus et sur laquelle on fait la mise au point. Au moment de l'expérience on doit relever ce miroir de façon à ne plus intercepter les rayons venant de l'étincelle et à les laisser se diriger vers la pellicule.

Cet appareil, qui a fourni 2.000 images par seconde, d'une netteté parfaite, a été construit par Bull en vue de l'étude du vol des insectes sur des sujets en liberté et les images ont rapport aux premiers instants du vol qui suivent le départ de l'insecte.

L'auteur a fait porter ses expériences sur des agrions, des tipules, dont il a étudié la trajectoire, les inclinaisons de plan, l'amplitude et la fréquence des battements de l'aile.

L'insecte à photographier était placé dans un tube muni d'une porte de mica qui est bousculée par l'animal quand il s'envole et dont l'ouverture provoque le déclenchement de l'obturateur.

Bull a réalisé depuis, pour d'autres buts, un instrument assurant l'enregistrement de phénomènes à la fréquence de 50.000 images par seconde.

Cranz (1) aurait porté cette fréquence à près de 100.000.

*Appareil d'OEhmichen.* — Cet auteur (2) a construit lui aussi un appareil d'enregistrement stroboscopique permettant à la fois l'examen et la prise de vues pour l'étude du vol des insectes (fig. 4).

(1) CRANZ. — Experimentelle Ballistik. Berlin, 1927.

(2) OEHMICHEN. — Nos maîtres, les oiseaux. Dunod, Paris, 1920.

Il comporte d'abord un tambour avec dispositif de tension du film. Ce tambour est en acier; le diamètre en est calculé de façon à ce que la longueur du film qu'il reçoit soit un multiple exact du pas de la bande cinématographique.

Il est animé d'un mouvement de rotation très lent, qui lui est communiqué par un train réducteur d'engrenage, dont la roue de

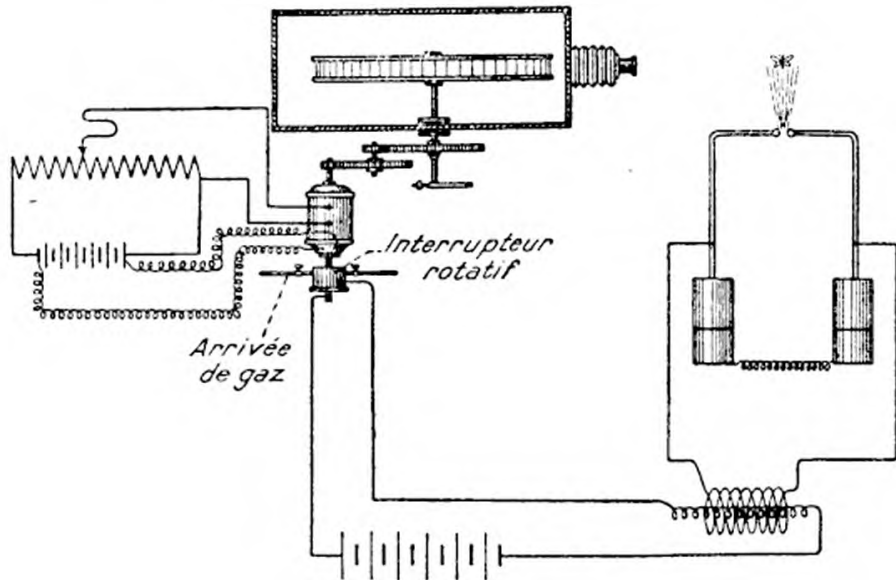


Fig. 4. — Schéma du dispositif d'œhmichen pour l'étude du vol des insectes.

tête est attachée par la dynamo d'entraînement; celle-ci porte en bout d'arbre le mécanisme de rupture.

Le rapport de vitesse entre le tambour et la dynamo est de 48, c'est-à-dire que l'étincelle jaillit 48 fois par tour de la grande roue. Celle-ci doit donc avoir un développement précisément égal à 48 fois la hauteur d'une vue cinématographique ordinaire.

D'autres roues, permettant de prendre jusqu'à 144 vues par tour, peuvent être adaptées.

L'objet dont on veut prendre le film stroboscopique est maintenu dans les limites d'un cadre, déplaçable le long d'une forte règle en acier graduée.

L'ouverture de l'obturateur est commandée par un électro-aimant à plongeur, muni d'un puissant ressort de rappel. Dès que le courant cesse dans l'électro, la fermeture s'opère.

Sur l'arbre de la roue est ajusté, à frottement demi-doux et réglable à volonté, un moyeu portant un bras rectiligne équilibré,

et butant normalement contre l'armature en gâchette d'un second électro-aimant. Cette gâchette peut s'effacer pour libérer le bras dès que l'électro est actionné.

Le dispositif à éclairs, également monté sur la règle, comporte un éclateur placé au voisinage du foyer d'un réflecteur parabolique, derrière lequel sont logés les condensateurs.

En avant, sont disposées deux grandes lentilles, destinées à assurer une plus grande homogénéité de fond qu'avec le réflecteur seul, qui n'est pas suffisamment parfait.

Lorsqu'on veut prendre une vue avec ce dispositif, on commence par mettre au point sur un objet fixe, puis on garnit la roue de son film et l'on referme la boîte. L'obturateur est alors fermé et le bras immobilisé par sa butée.

On place l'insecte à étudier dans le cadre du champ. Quand le régime est établi, on met en marche la dynamo entraînant le tambour et le rupteur. Des étincelles éclatent à une fréquence proportionnelle à la vitesse. On règle celle-ci de manière à obtenir un synchronisme approché.

Lorsque le mouvement à étudier apparaît avec toute la régularité et le ralenti voulus, on déclanche l'appareil en appuyant sur un bouton. Le courant est alors lancé simultanément dans l'électro du bras de manœuvre et dans celui de l'obturateur. Le bras est aussitôt libéré et l'obturateur s'ouvre. Quand la roue entraînant le bras est sur le point de repasser par la position pour laquelle a commencé la prise de vues, le bras vient buter sur l'interrupteur de l'électro, l'ouvre, et provoque ainsi la fermeture de l'obturateur. Le bras continuant son mouvement vient heurter le galet qui l'immobilise.

#### COMPARAISON ENTRE CINÉMATOGRAPHES ET CHRONOPHOTOGRAPHES.

Ces dispositifs, ceux de Bull, d'Oehmichen, de Cranz, sont très intéressants pour analyser un phénomène rapide, très rapide même comme le parcours d'une balle de fusil. A ce point de vue, ils ont donné de grandes satisfactions.

Mais pour des phénomènes de durée plus lente comme le battement d'une aile d'oiseau ou d'insecte, ils ont le désavantage de ne pas permettre le plus souvent d'enregistrer le phénomène en

entier parce que sa durée est trop grande pour la longueur maxima du film employée.

Prenons, par exemple, un appareil donnant 200 images, à la fréquence de 50.000 à la seconde.

En fait, il ne fournit pas 50.000 vues dans une seconde; il n'en donne que 200 séparées chacune par  $1/50.000$  de seconde. L'appareil ne travaille que pendant  $1/250$  de seconde. Pendant les  $249/250$  autres, il n'enregistre rien.

Si le phénomène à étudier dure 1 seconde, il n'en montre donc que la  $1/250$  partie; s'il dure  $1/25$  de seconde comme le battement d'une aile de petit oiseau, il ne permet d'en étudier que la  $1/10$  partie; s'il dure  $1/100$  de seconde, il n'en donne que la moitié à peine.

Autrement dit, pour avoir le film d'un battement d'ailes de vautour qui donne 2 coups d'aile par seconde, avec des images de 2 cm. de hauteur, il faut impressionner 500 m. de pellicule.

Pour avoir un film du battement d'ailes d'un oiseau comme le combassou, qui donne 20 coups d'ailes par seconde, il faut impressionner dans les mêmes conditions 50 m. de film. Pour avoir le battement d'une mouche bleue qui donne 100 coups d'ailes à la seconde, il faut disposer de 10 m. de film.

Un tel résultat est difficile à obtenir avec de tels appareils parce que cela nécessiterait une roue de 3 m. de diamètre, dans les cas les plus favorables, et de 160 m. dans les cas les plus défavorables, ce qui rend l'emploi de l'étincelle difficile.

Ces considérations m'amènent donc à proposer une définition, peut-être arbitraire d'ailleurs, des appareils de prises de vues.

J'appellerai cinématographes les instruments qui sont capables de prendre des images en nombre illimité, c'est-à-dire tant qu'il y a de la pellicule disponible.

Je désignerai, par contre, chronophotographes ceux qui permettent de prendre des vues à une fréquence très élevée, mais pendant un laps de temps très court.

#### LE CINÉMATOGRAPHE ULTRA-RAPIDE DONNANT 2 A 3.000 VUES PAR SECONDE.

Désireux d'aborder l'étude de certains phénomènes rapides, M. Huguenard et moi-même nous sommes demandé s'il ne serait

pas possible d'imaginer un appareil de prises de vues spécial donnant un nombre considérable d'images.

Nous avons été ainsi conduits à créer des dispositifs grâce auxquels nous avons pu sans trop de peine obtenir 3.000 vues par seconde (1).

*Principe.* — La méthode employée a consisté à séparer le film de dimension courante, c'est-à-dire de 35 mm. de largeur, en

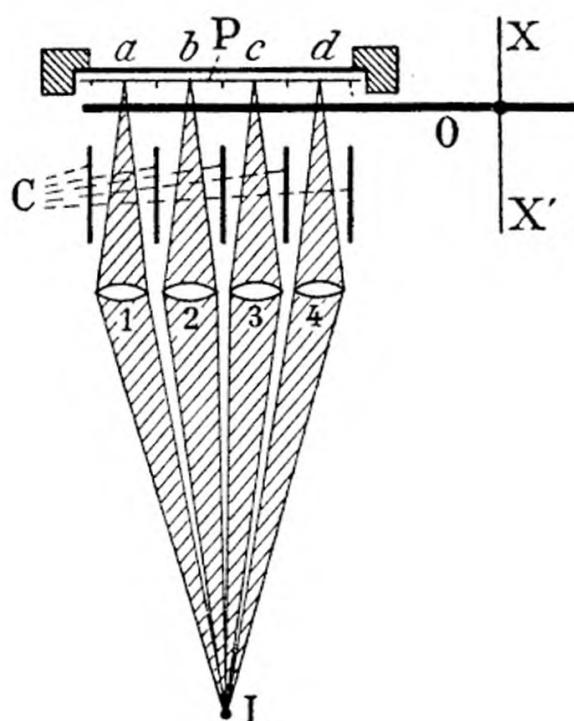


Fig. 5. — Schéma de montage du cinématographe ultra-rapide Huguenard-Magnan.

un certain nombre de bandes impressionnées chacune par un objectif spécial, les divers objectifs travaillant à tour de rôle à intervalles de temps égaux.

Nous avons à cet effet placé côte à côte 4 objectifs de petite dimension 1, 2, 3, 4, couvrant chacun  $1/4$  de la largeur du film P et donnant ainsi des images *a, b, c, d*, qui ont environ 6 mm. sur 5 mm. (fig. 5).

1. HUGUENARD et MAGNAN. — Sur un cinématographe ultra-rapide donnant de 2000 à 3000 vues par seconde. C. R. A. S. 1<sup>er</sup> juin 1931.

Devant ces objectifs tourne un obturateur  $O$ , percé d'une série de fentes fonctionnant comme celle d'un obturateur de plaques et disposées de telle façon que 4 fentes d'un même groupe découvrent successivement les 4 objectifs et que lorsque la dernière fente découvre la 4<sup>e</sup> ouverture, la 1<sup>re</sup> fente découvre la 1<sup>re</sup> ouverture, la 1<sup>re</sup> fente d'une autre série vient à son tour découvrir le 1<sup>er</sup> objectif. Il en résulte que, sur la surface occupée par une image ordinaire, on peut loger au moins 12 vues.

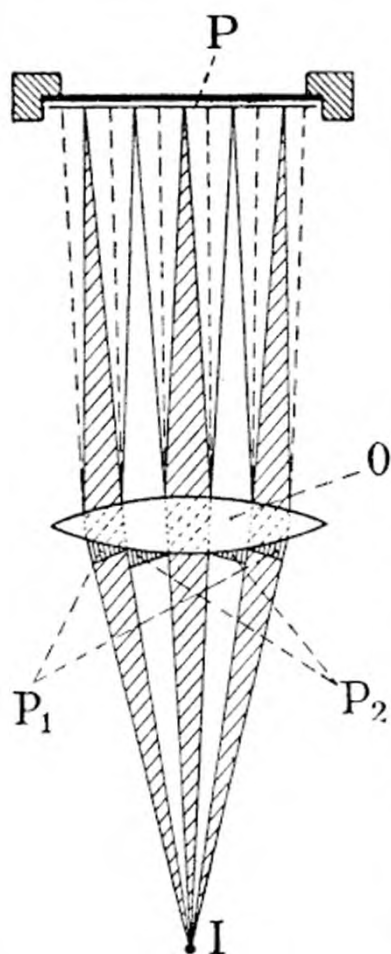


Fig. 6. — Schéma de montage du dispositif du cinématographe ultra-rapide à prismes.

La bande de film se déroulant d'une façon continue à une vitesse qui est de l'ordre de 3 m/sec, il est possible de loger 2.400 vues au moins dans cette longueur.

Nous avons aussi étudié une autre disposition. Au lieu de quatre objectifs, nous employons un seul objectif normal  $O$  dont le champ est réduit transversalement par des prismes  $P_1 P_2$  à arêtes parallèles au plan du film; à l'endroit de l'enregistrement photographique, chaque partie de l'objectif, avec son prisme, impressionne seulement une bande partielle de film; l'ensemble fournit une image multiple du sujet.

L'objectif seul couvre en effet toute la largeur du film, donnant de l'objet  $I$  une seule image. Les prismes donnent 4 images supplémentaires que des cloisons appropriées juxtaposent sur le film sans qu'elles se superposent. Ces prismes peuvent aussi s'écarter ou se rapprocher, ce qui permet de placer convenablement les images sur le film (fig. 6).

*Réalisation de l'appareil à 4 objectifs obliques.* — Le principe étant posé, comme nous n'avons aucun moyen suffisant pour faire construire un appareil par des techniciens compétents, il a été décidé de tout établir avec les moyens du bord, ce qui re-

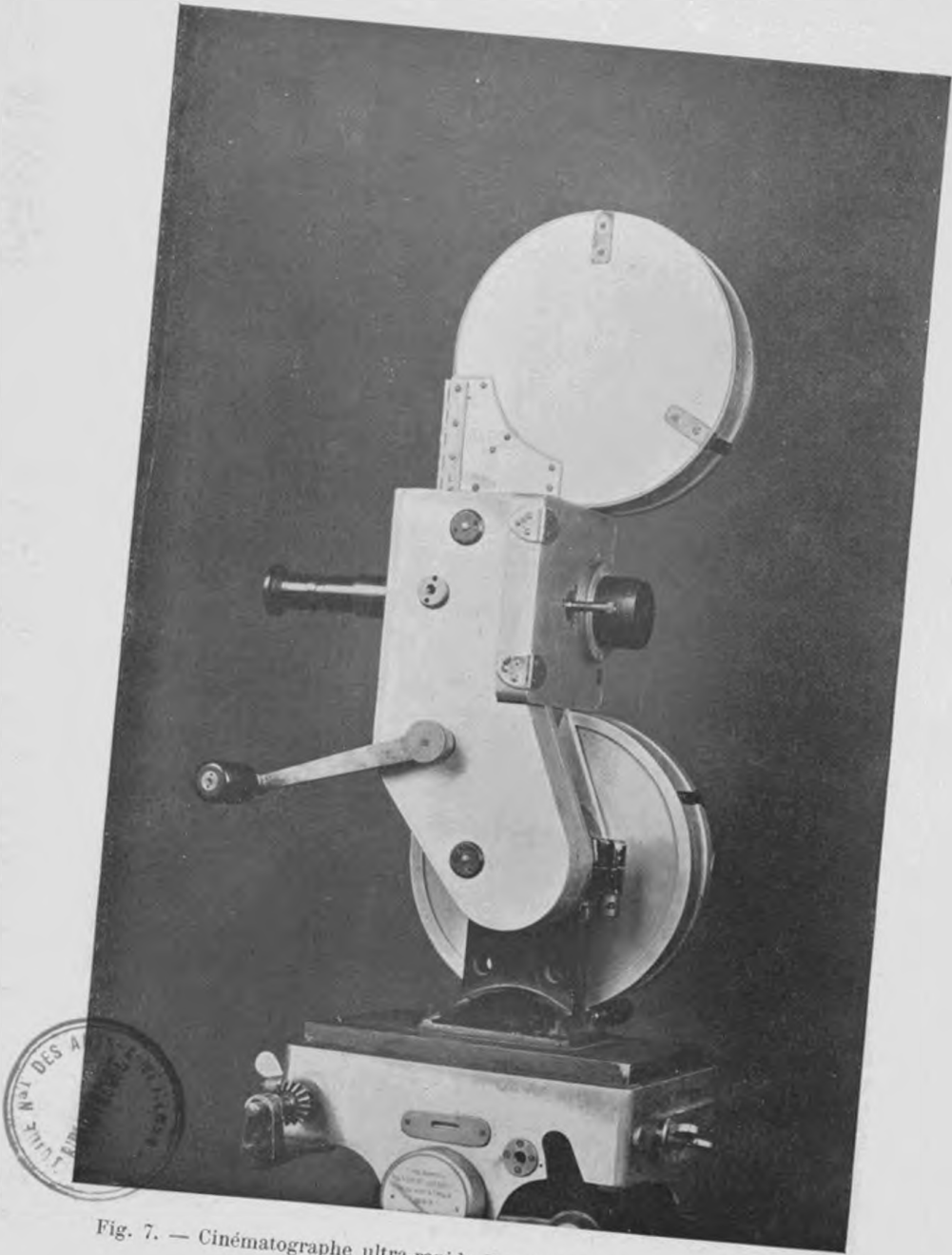


Fig. 7. — Cinématographe ultra-rapide Huguenard-Magnan avec son bloc de 4 objectifs, en ordre de marche.



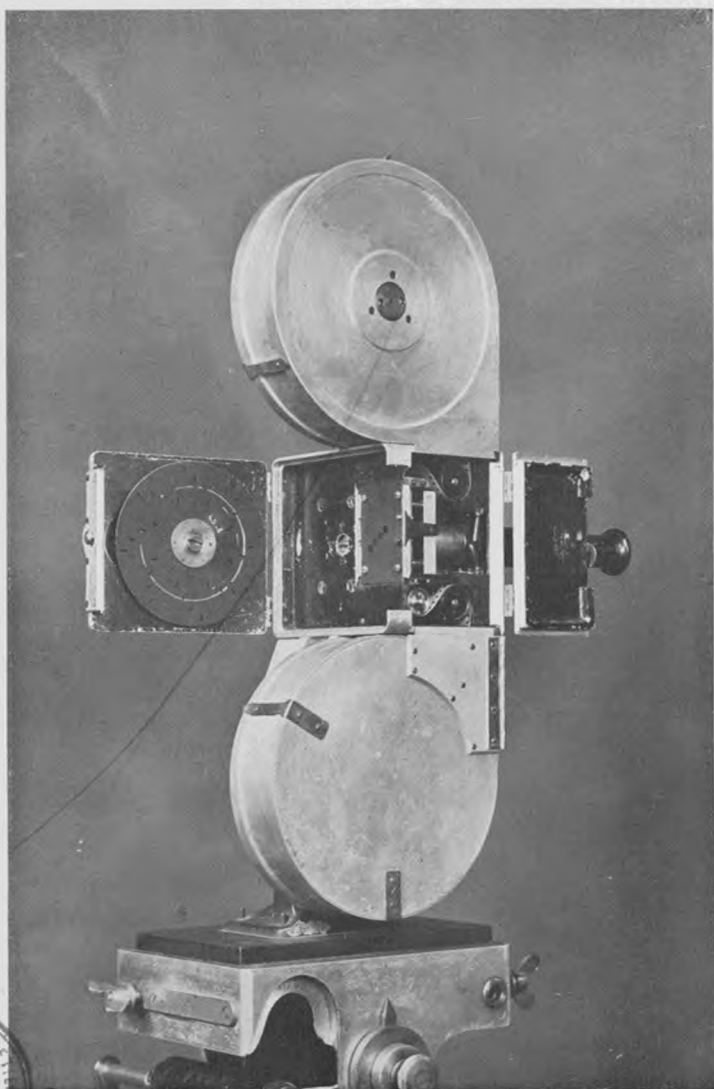


Fig 8 — Cinématographe ultra-rapide Huguénard-Magnan ouvert, montrant l'obturateur à fentes multiples et la plaque avec ses 4 trous.





Fig. 9. — Bloc à 4 objectifs.

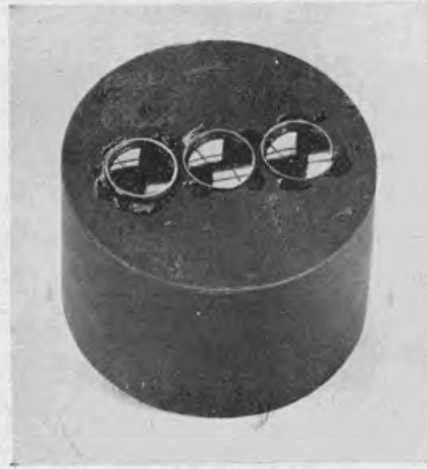


Fig. 14. — Bloc à 3 objectifs.



Fig. 10. — Obturateur à 6 séries de 4 fentes.



Fig. 15. — Obturateur à 7 séries de 3 fentes.

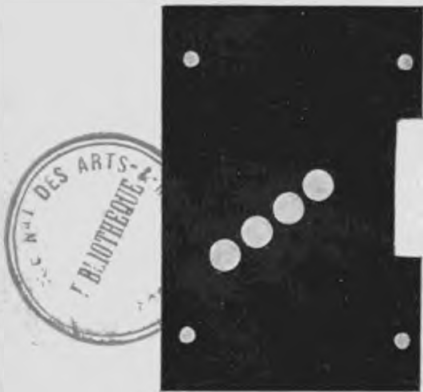


Fig. 11. — Plaque à 4 trous placés obliquement.



Fig. 16. — Plaque à 3 trous placés horizontalement.



vient à dire que les essais et montages ont tous été effectués dans le laboratoire de Mécanique animale du Collège de France.

Nous avons pris un cinématographe Noguès que le ministère de l'Air avait mis à notre disposition et nous l'avons transformé, en ne gardant que le mécanisme d'entraînement du film auquel nous avons donné un mouvement continu pouvant atteindre 5 m. par seconde, en enlevant la came de Demeny, en arrêtant le fonctionnement des griffes et en plaçant 2 petits rouleaux de cuivre avant et après le couloir, de façon à faciliter le déroulement rapide de la pellicule (fig. 7 et 8).

Les objectifs ont été montés sur un bloc (fig. 9) prenant la place de l'objectif normal. Le travail a été exécuté par l'Optique Scientifique.

Ces objectifs sont de simples lentilles achromatiques de 50 mm. de foyer chacune, ouverts à F.-11, ce qui les rend peu lumineuses, et ce qui n'assure qu'un champ réduit.

Puis nous avons remplacé l'obturateur normal par un obturateur à fentes étroites, qui peut tourner à environ 100 tours par seconde en sens inverse de la marche du film, le nombre de séries de 4 fentes variant de 6 à 8 (fig. 10).

Enfin pour limiter les images sur le film, une plaque spéciale possédant 4 trous ronds (fig. 11) a été placée devant la pellicule.

Toute la mise au point de l'instrument a été faite avec l'aide de M. Chiffot qui nous a rendu de très grands services.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil de prises de vues.

Le film cinématographique représenté en P, est déroulé d'un mouvement uniforme, perpendiculairement au plan de la figure 5 et dans le plan de la figure 12, par le mécanisme. Il est guidé par un couloir à la manière habituelle.

A une certaine distance du film, se trouve placé l'objet à cinématographier, dont 4 petits objectifs disposés l'un à côté de l'autre en oblique, donnent, s'il n'y a pas d'obturateur, 4 images sur le film, en *a*, *b*, *c*, *d*, quand celui-ci se déroule. Chaque objectif impressionne donc une bande déterminée du film P, des cloisons telles que C empêchant un objectif d'envoyer de la lumière sur la bande affectée à un autre objectif (fig. 5).

En avant du film, à une distance très petite de sa surface, se trouve disposé l'obturateur circulaire O, tournant autour d'un

axe  $XX'$  dans le sens de la flèche, ainsi qu'il est représenté sur la figure 12 qui est une vue projetée sur un plan parallèle à la surface du film.

Cet obturateur porte plusieurs séries de 4 fentes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 réparties sur sa surface, et tourne sous l'action d'un mécanisme relié par engrenage au mécanisme de déroulement, qui assure le mouvement du film.

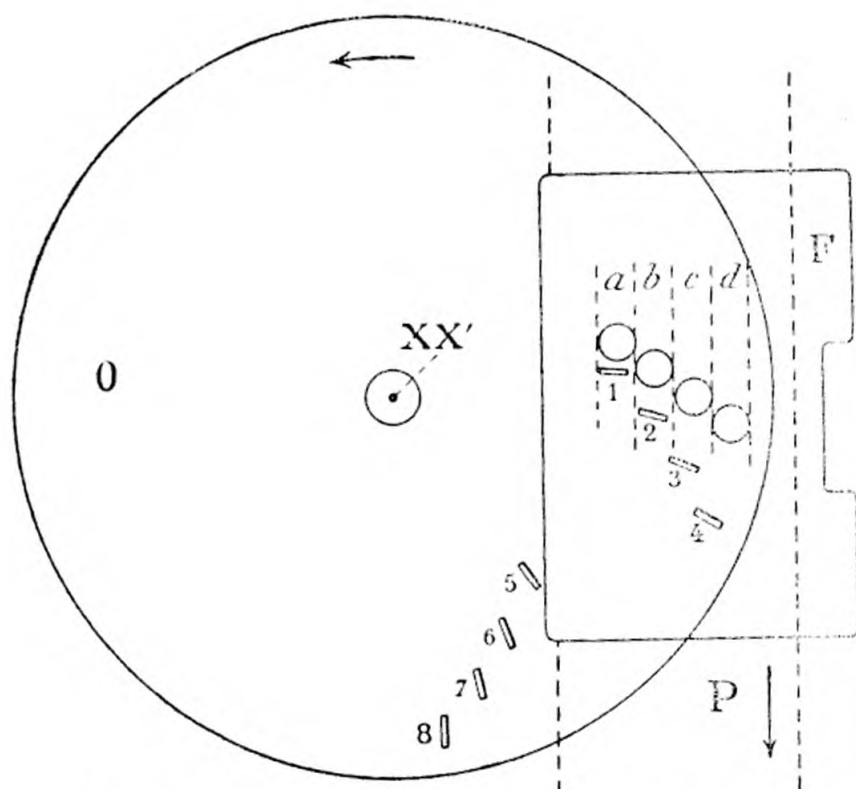


Fig. 12. — Schéma de fonctionnement du cinématographe ultra-rapide à 4 objectifs placés obliquement.

Les mouvements s'effectuent dans des conditions que les chiffres suivants permettent de préciser. La vitesse de film est de 3 m/sec, l'obturateur fait 100 tours/sec, et présente dans la région moyenne un diamètre de 10 cm.

Chacune des images occupe sur la pellicule une longueur de 6 mm. environ, sa hauteur étant d'environ 5 mm.

La fente de l'obturateur, correspondant à un temps qui est d'environ  $1/6000$  de seconde, le chemin parcouru par le film est, dans

ce temps, de  $1/2$  mm. environ, ce qui produit un allongement ou un raccourcissement de l'image d'environ  $1/10$ , qui peut être facilement corrigé par l'emploi d'un verre correcteur cylindrique ajouté à l'objectif. La netteté de l'image dépend en outre de l'étroitesse de la fente employée comme dans les obturateurs de plaque usuels.

A la vitesse de 3 m/sec, une image de 5 mm. passe en  $1/600$  de

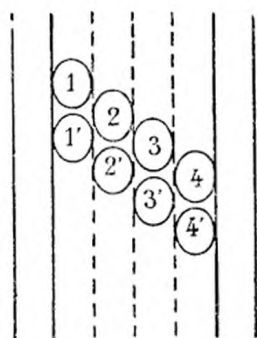


Fig. 13. — Position des images sur le film avec les 4 objectifs placés obliquement.

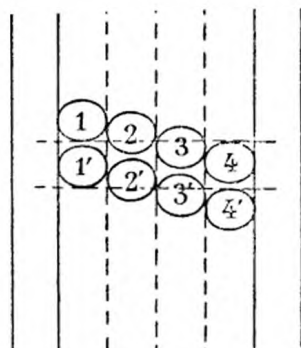


Fig. 17. — Position des images sur le film avec les 3 objectifs placés horizontalement.

seconde. Dans ce temps, l'obturateur tourne de  $1/6$  de tour. Il est donc possible, en disposant 6 séries de fentes, de juxtaposer sur le film des images qui se succèdent à  $1/600$  de seconde d'intervalle sur la même bande partielle. Les 4 fentes transversales, d'un même groupe de vues, passent à une certaine époque  $t$ , puis  $t + \frac{1}{2.400}$ ,  $t + \frac{2}{2.400}$ ,  $t + \frac{3}{2.400}$ . La vue suivante se produit à  $t + \frac{4}{2.400}$ , c'est-à-dire à  $t + \frac{1}{600}$ , à l'aide de la 1<sup>re</sup> fente du groupe suivant, décalée de  $1/6$  de tour sur l'obturateur par rapport à la précédente série de fentes.

On voit qu'on fait, en définitive, 4 vues espacées de  $1/2400$  de seconde en  $1/600$  de seconde sur une ligne transversale oblique, puis une nouvelle série de 4 vues et ainsi de suite et qu'on obtient 2.400 vues par seconde, disposées comme l'indique la figure en 1, 2, 3, 4, puis 1', 2', 3', 4' (fig. 13). Nous sommes arrivés à prendre 3.200 vues par seconde en augmentant la vitesse de déroulement de la pellicule.

*Réalisation de l'appareil à 3 objectifs horizontaux.* — Nous avons, depuis cette 1<sup>re</sup> réalisation, et pour avoir plus de lumière, établi des blocs portant 3 objectifs ouverts à F-7, puis à F-4 (fig. 14).

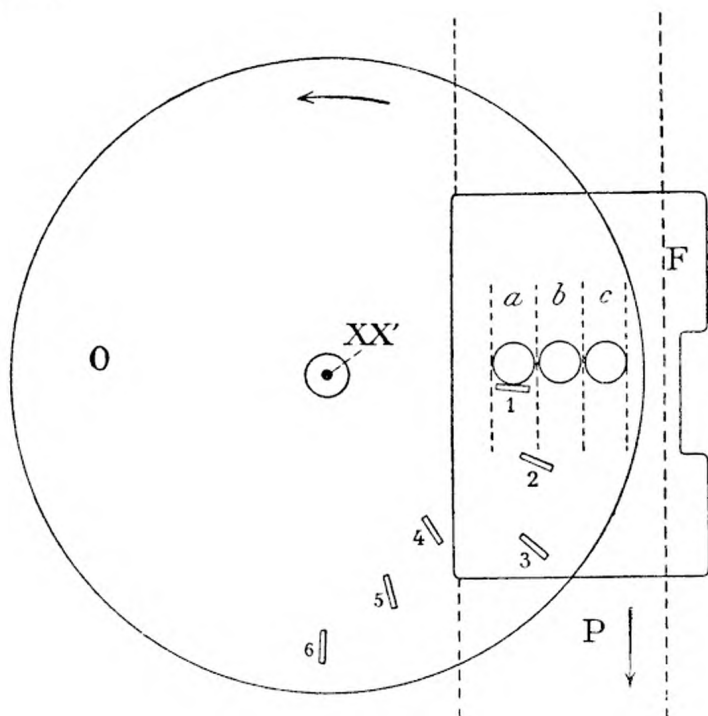


Fig. 18. — Schéma de fonctionnement du cinématographe ultra-rapide, à 3 objectifs placés horizontalement.

De ce fait, l'obturateur à fentes étroites 0, ne comprend plus que des séries de 3 fentes 1, 2, 3, 4, 5, 6 (fig. 15) et la plaque-fenêtre F placée devant la pellicule P, 3 trous disposés horizontaux (fig. 16); chaque objectif impressionne une bande de film *a*, *b*, *c*, plus large que dans le cas précédent (fig. 18) et les vues se placent alors sur une ligne transversale légèrement oblique (fig. 17).

Les images ont dans ces conditions 8 mm. de largeur, 6 mm. de hauteur et peuvent être obtenues à raison de 2.000 à la seconde.

### AVANTAGES ET DÉFAUTS DU CINÉMATOGRAPHE ULTRA-RAPIDE RÉALISÉ ACTUELLEMENT

L'appareil que nous avons établi est, d'après la définition précédente, un véritable cinématographe donnant autant de vues qu'on le désire.

Comme je l'ai déjà dit, les appareils chronophotographiques font un certain nombre de vues sur une pellicule en un temps qui peut être très court, mais ne donnent en définitive qu'un petit nombre de vues.

Prenons, par exemple, un instrument qui fournit 50 photographies en  $1/1000$  de seconde. Il est entendu que si celui-ci pouvait être maintenu en fonctionnement pendant 1 seconde, il ferait 50.000 vues. Mais, pas plus qu'un champion de course à pied qui couvre 100 m. en 10 secondes ne parcourt 36 km. à l'heure, des chronophotographes de ce type ne fournissent 50.000 vues par seconde!

Il faut, après avoir débité 50 vues en  $1/1.000$  de seconde, passer un temps qui est de l'ordre de 1 minute à recharger l'appareil, de sorte qu'en 5 minutes par exemple, on obtiendra 5 fois 50 vues, donc 250 vues en travaillant  $5/1.000$  de seconde, avec un temps mort de 5 minutes diminué de  $5/1.000$  de seconde.

De tels instruments sont excellents pour l'étude de mouvements de durée très courte, mais ils sont moins indiqués pour des recherches comme celles que nous poursuivons sur les êtres vivants.

Le cinématographe, au contraire, constitue, lui, un appareil qui, après chaque vue, est remis automatiquement en état de faire la vue suivante, de sorte qu'il peut, tant qu'il reçoit du film, fonctionner indéfiniment.

En pratique, les appareils cinématographiques rapides usuels ne peuvent marcher, comme il a été dit, que 10 secondes par exemple à 150 vues par seconde, ou 3 secondes à 250 vues/sec.

Notre appareil est un cinématographe qui peut fonctionner pratiquement aussi longtemps qu'on le veut, tant qu'il a du film.

Reprenons l'exemple du chronophotographe qui fait, en 5 minutes, 5 fois 50 images, soit 250 vues; notre instrument tel qu'il est, à raison de 3.000 vues par sec., peut « tenir » avec ses 120 m.

de film, 40 secondes, sans difficulté aucune; il fera donc 40 fois 3.000 vues, soit 120.000 vues dans ce temps; en changeant les magasins, ce qui demande 20 secondes, on aurait 600.000 d'images en 5 minutes.

Ces 2 chiffres : 250 vues obtenues en 5 minutes avec les appareils de chronophotographie ultra-rapide et 600.000 vues faites dans le même temps par notre cinéma, soit 2.400 fois plus, montrent bien la différence profonde qui sépare les deux types d'appareils, les applications qu'on peut en faire et traduisent entre autres les difficultés qu'il a fallu vaincre pour réussir.

Ces difficultés ont été en effet très grandes, étant donnée la nécessité d'adapter, faute de crédits suffisants, un appareil non approprié.

En effet, tout le montage a été effectué par M. Duvollet, aussi bien qu'il a pu avec l'outillage dont il disposait.

Il aurait fallu, entre autres, que l'obturateur pût tourner au ras du film, mais cela aurait entraîné de telles modifications qu'on a dû y renoncer. De même, les fentes de l'obturateur auraient dû être exécutées par un spécialiste, la précision à donner à leur longueur et à leur largeur étant indispensable pour la bonne séparation des images.

Les objets cinématographiés n'ont pas toujours eu sur la pellicule un centrage convenable qui tient à ce que les objectifs sont fixés dans le bloc dont le déplacement se fait à la main pour la mise au point. En fait, les lentilles devraient s'écarter ou se rapprocher suivant que la mise au point du sujet se fait à une distance plus ou moins grande du cinématographe. Nous n'avons pas réalisé cette disposition au début pour éviter de trop grands frais.

D'autre part, les films sont souvent rayés par suite de frottements occasionnés contre les parois du cinématographe, en raison du peu de place existant entre celles-ci et les rouleaux de guidage.

Enfin, les cloisons nécessaires pour séparer les images n'ont pas encore permis jusqu'ici d'empêcher cette séparation absolue, ce qui a pour effet de donner naissance à des halos sur le bord transversal des vues.

## APPLICATION DU CINÉMATOGRAPHE ULTRA-RAPIDE

J'ai utilisé ce cinématographe à l'étude du vol des oiseaux et des insectes, grâce à une subvention qui m'a été donnée par la Caisse des Recherches scientifiques. Tout d'abord, comme source de lumière, je me suis servi d'un arc à courant alternatif, pour déterminer la fréquence des images obtenues par seconde; on sait qu'un tel arc s'éteint, avec le courant dont on dispose à Paris, tous les  $1/100$  de seconde. J'ai alors cinématographié un pendule en mouvement, de période connue, au moyen de cet arc (fig. 19) et j'ai compté les vues contenues dans un  $1/100$  de seconde, en même temps que celles représentant une oscillation du pendule. Ces chiffres nous ont donné la fréquence des images; ils ont été concordants.

Ensuite, j'ai employé, comme dans les studios, un arc à courant continu, le temps étant donné par un pendule (fig. 20), ou mieux avec la lumière d'une lampe impressionnant un coin du film, et dont le circuit était coupé tous les  $1/10$  de seconde avec une sorte de Jaquet. On a ainsi sur les films d'étude d'animaux en vol le moyen de connaître le temps.

J'ai ensuite fait voler un combassou devant le cinématographe, malgré la difficulté qu'il y avait à réaliser une mise au point convenable, l'animal se dirigeant selon sa volonté. Le premier film obtenu est représenté dans la figure 21; on voit qu'il révèle, malgré le déroulement continu de la pellicule et la fréquence d'enregistrement de l'ordre de 2.800 à 3.000 vues par seconde, une bonne netteté, chaque plume de l'aile étant bien détaillée, sans flou.

Ce film qui représente le passage de l'oiseau devant les 4 objectifs ouverts à F. 11 nous a déjà révélé certaines formes de l'animal en vol non observées jusqu'ici.

C'est ainsi que pendant l'abaissement, et surtout à la fin de celle-ci, le corps de l'oiseau se met en boule par suite de la contraction violente des grands pectoraux, la rondeur du dos disparaissant peu à peu avec la relevée de l'aile.

Les enregistrements nous ont montré en outre que cet oiseau fournissait pendant tout l'essor, 30 battements par seconde, les

détails du vol se trouvant aussi très bien pris, puisque chaque coup d'aile correspond à 100 vues environ.

J'ai aussi, au début, enregistré le vol libre de certains gros insectes au laboratoire, en plaçant ceux-ci dans une grande cuve de verre à faces parallèles. Les films (fig. 22, 23, 24, 25, 26), qui sont assez nets malgré le déplacement de l'insecte en vol, m'ont permis de définir le nombre des battements par seconde ainsi que les diverses phases du mouvement des ailes.

Voici le tableau des battements donnés par seconde :

Grande libellule ( <i>Aeschna grandis</i> ).....	36
Petite libellule ( <i>Agrion puella</i> ).....	35
Mouche bleue ( <i>Calliphora vomitoria</i> ).....	110
Bourdon des jardins ( <i>Bombus hortensis</i> ).....	100
Tipule ( <i>Tipula gigantea</i> ).....	50
Papillon satyre ( <i>Pararga megæra</i> ).....	20

D'autre part, les films ont bien mis en évidence le mouvement des ailes.

En particulier, les films de tipule montrent que l'aile descend, son plan incliné de manière à ce que le bord arrière soit plus haut que le bord avant, en se portant vers l'avant, puis, tournant autour du bord antérieur, place sa face inférieure vers l'avant, le bord arrière suivant le mouvement comme la soie d'un drapeau qu'on remue. L'aile se relève ensuite, toujours sa face inférieure tournée vers l'avant, puis se remet à plat à la fin de la relevée; elle décrit ainsi un huit.

J'ai aussi essayé d'obtenir des images de petits oiseaux ou d'insectes en vol, en plein jour. Les figures 27 et 28 montrent d'abord un combassou cinématographié à raison de 3.000 vues à la seconde en plein ciel.

La figure 25 représente une grande libellule cinématographiée en vol, en plein jour, devant un écran blanc réfléchissant la lumière solaire. L'insecte évolue devant l'écran. Il n'est pas toujours au point parce qu'il se déplace comme il lui plaît. La figure 30 est plus intéressante, parce qu'elle montre la même libellule prise dans les mêmes conditions, en plein jour, avec son ombre projetée sur l'écran quand elle passe à proximité de celui-ci.

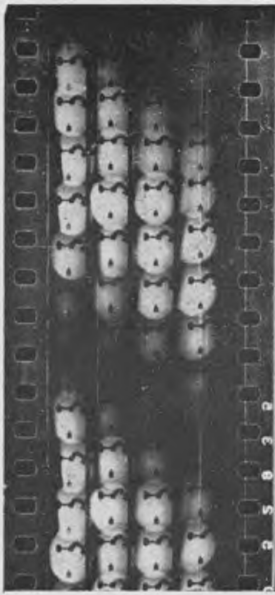


Fig. 19

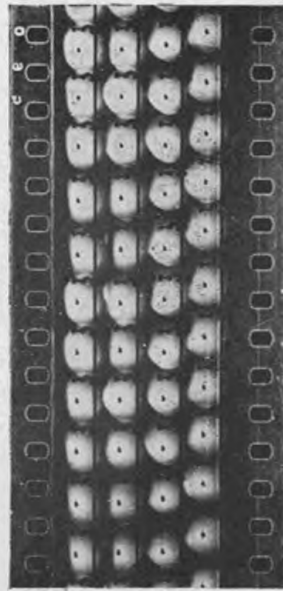


Fig. 20



Fig. 22



Fig. 23

Fig. 19. — Enregistrement des oscillations d'un pendule éclairé par un arc à courant alternatif (2.800 vues par seconde).

Fig. 20. — Enregistrement des oscillations d'un pendule éclairé par un arc à courant continu (2.800 vues par seconde).

Fig. 22. — Enregistrement du vol libre d'une libellule, callopteryx splendens ♀ (2.800 vues par seconde).

Fig. 23. — Enregistrement du vol libre d'une grande libellule (*Aeschna cyanea*) (1.800 vues par seconde).





Fig. 21. — Enregistrement du vol libre d'un Combassou  
(3.000 vues par seconde).





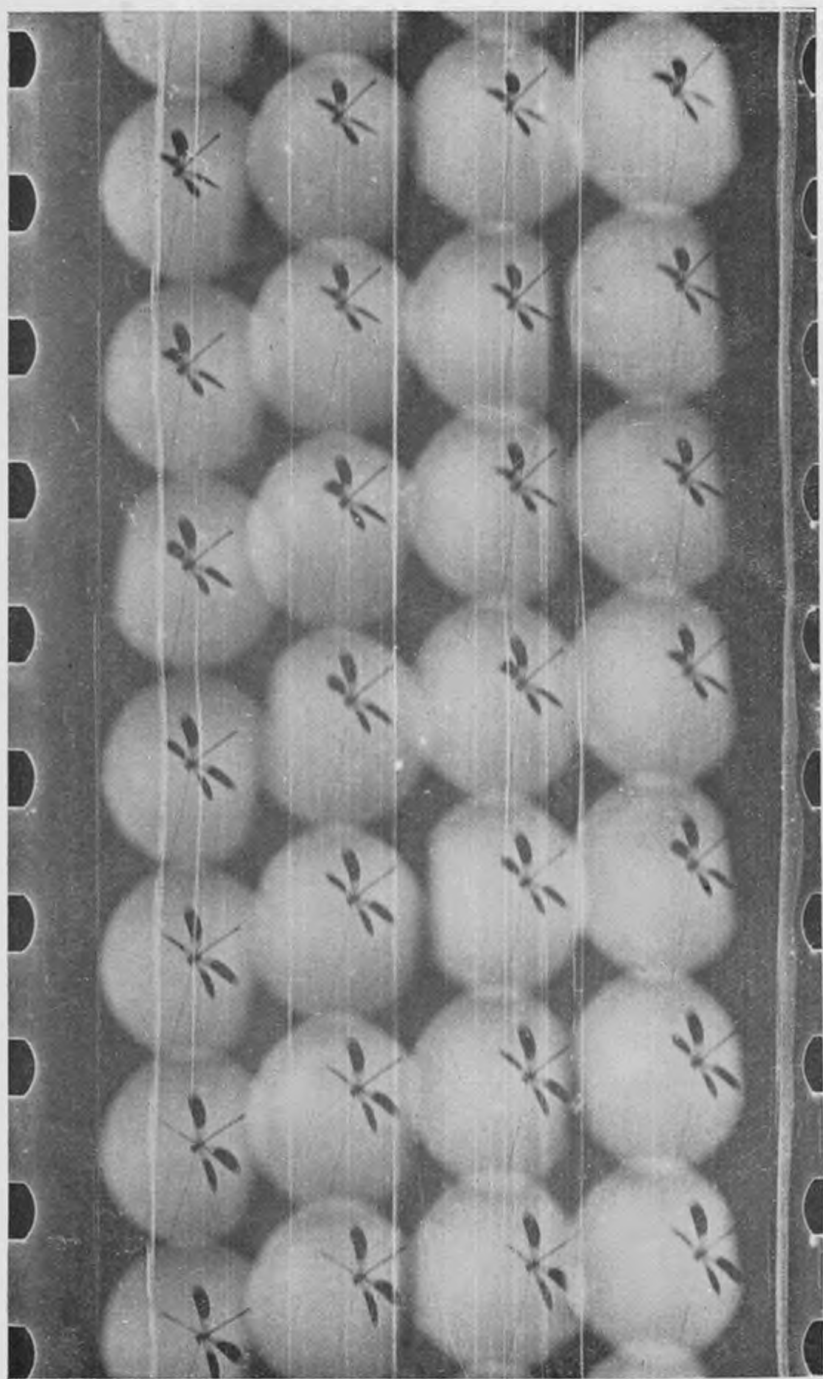


Fig. 24. — Enregistrement du vol libre d'une libellule, *Callopteryx splendens* ♂, agrandi (2.800 vues par seconde).



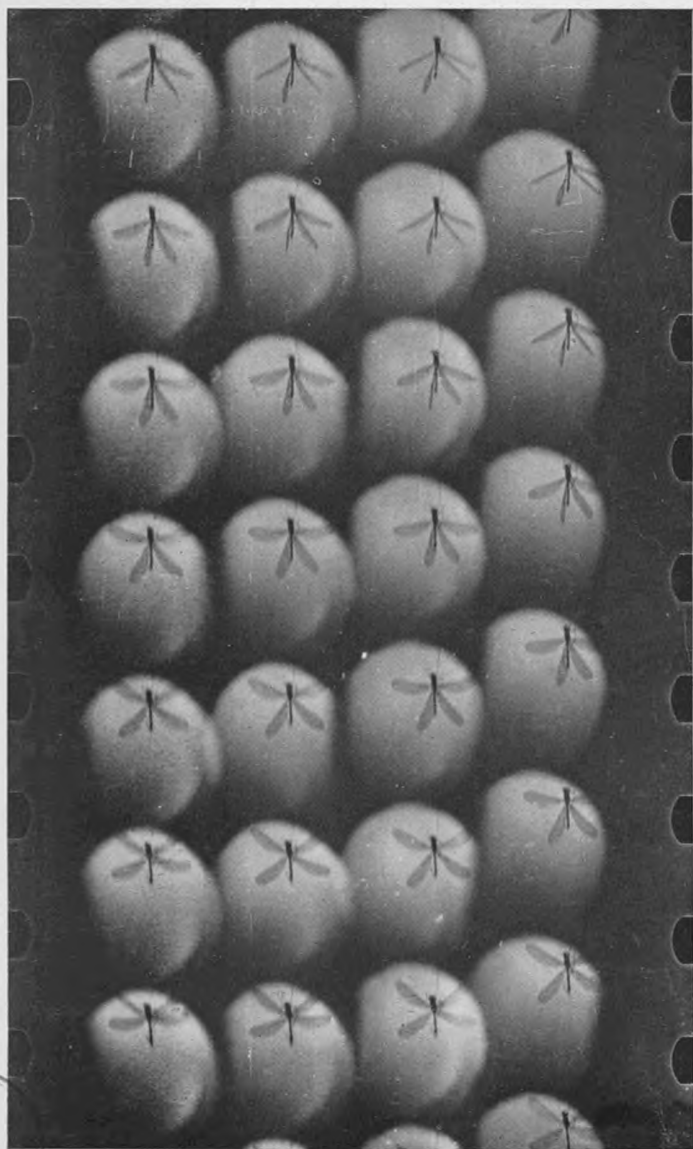


Fig. 25. — Enregistrement du vol libre d'une libellule, *Calloteryx splendens* ♀, agrandi (2.800 vues par seconde).





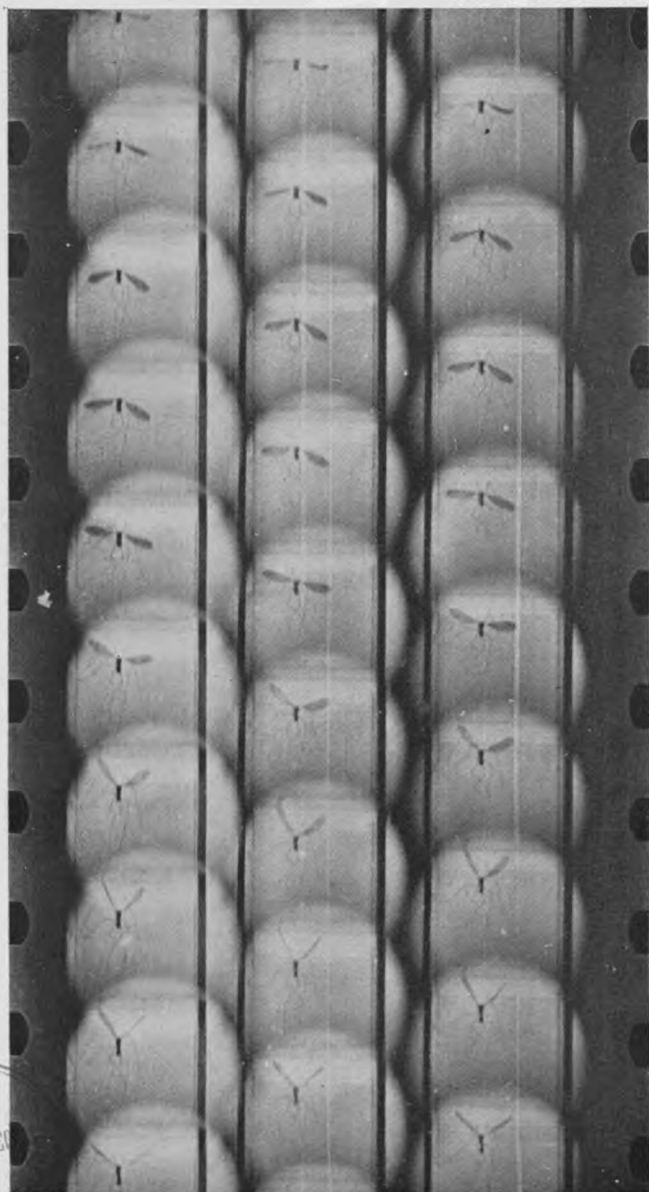


Fig. 26. — Enregistrement du vol libre d'une Tipulea  
(1.800 vues par seconde).



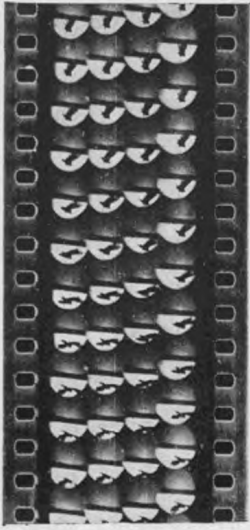


Fig. 27.

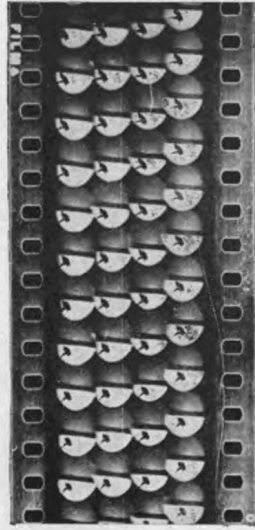


Fig. 28.

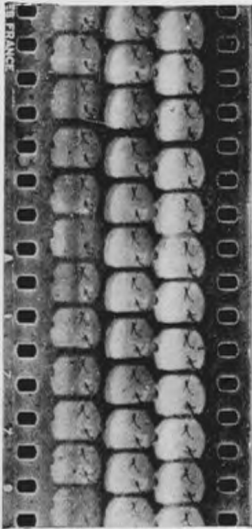


Fig. 30.



Fig. 29.

Fig. 27. — Enregistrement, en plein jour, du vol libre d'un Combassou (3.000 vues par seconde).

Fig. 28. — Enregistrement, en plein jour, du vol libre d'un Combassou (3.000 vues par seconde).

Fig. 29. — Enregistrement, en plein jour, du vol libre d'une grande libellule (*Aeschna cyanea*) (1.800 vues par seconde).

Fig. 30. — Enregistrement, en plein jour, du vol libre d'une grande libellule (*Aeschna cyanea*) (1.800 vues par seconde).





### ESSAIS DE PROJECTIONS CINÉMATOGRAPHIQUES

Naturellement, j'ai cherché à projeter ces films, non seulement comme complément obligatoire de telles recherches, mais aussi et surtout parce que cela permet de suivre le mouvement des ailes qu'il est plus difficile de bien déterminer sur des images examinées séparément.

J'ai évidemment rencontré là de grosses difficultés de réalisation, faute toujours de moyens et de matériel approprié.

Une première réalisation a été tentée; voici comment se présentait l'appareil projecteur ainsi que son fonctionnement.

Tout d'abord, comme chacun sait, à l'encontre de ce qui est nécessaire pour les prises de vues où les fentes de l'obturateur doivent être étroites, et où le film peut se dérouler de façon continue, dans l'appareil de projection il faut actuellement que les objectifs restent démasqués le plus longtemps possible, que les images restent fixes pendant ce temps et que l'escamotage du film soit réduit au strict minimum.

Pour arriver à ce résultat, j'ai d'abord essayé de placer les objectifs de prises de vues de manière à ce que les 4 images soient bien horizontales sur le film, ce qu'on obtient en les disposant inclinées vers la droite et un peu vers le bas.

Il faut aussi que les dimensions des images soient telles que leur hauteur soit égale à la longueur existant entre deux perforations.

Le film est placé devant les objectifs de projection, de manière à ce que la première image se voie sur l'écran. L'obturateur qui n'a que 4 fentes larges, découvre successivement les 4 images de la 1<sup>re</sup> ligne, ce qui donne une première vue animée, puis, à ce moment, 2 griffes entrent dans la perforation et tirent le film vers le bas, plaçant la 2<sup>e</sup> ligne en position de projection et ainsi de suite.

N'ayant pu réaliser complètement ce dispositif, j'ai alors voulu, par une autre méthode, passer au ralenti les diverses images. A cet effet, nous avons, avec l'aide de M. Chifflet, projeté automatiquement chaque image du film négatif sur un film positif pour vues normales  $18 \times 24$ .

Comme tout le travail a été effectué ici au laboratoire, impres-

sion, développement..., nos positifs ne sont pas parfaits, et cela d'autant plus que les vues obtenues avec l'arc à courant continu n'ont pas toujours la même intensité.

Malgré cela, nous avons pu monter un premier film dont nous donnons dans les figures 30, 31, 32, quelques extraits à titre scientifique. Ils sont loin de valoir les films qui sont projetés dans les salles et ne sont pas artistiques à cause des fonds qui sont mal venus, ce à quoi nous arriverons à remédier.

Toutefois, ils ont permis de projeter au ralenti, des insectes battant des ailes, avec un ralenti de 200 fois.

Ce fait est intéressant en raison des espoirs qui en découlent, car cela nous permet d'entrer dans un monde nouveau que notre œil ne nous permettait pas d'entrevoir à cause de la fréquence trop grande des mouvements.



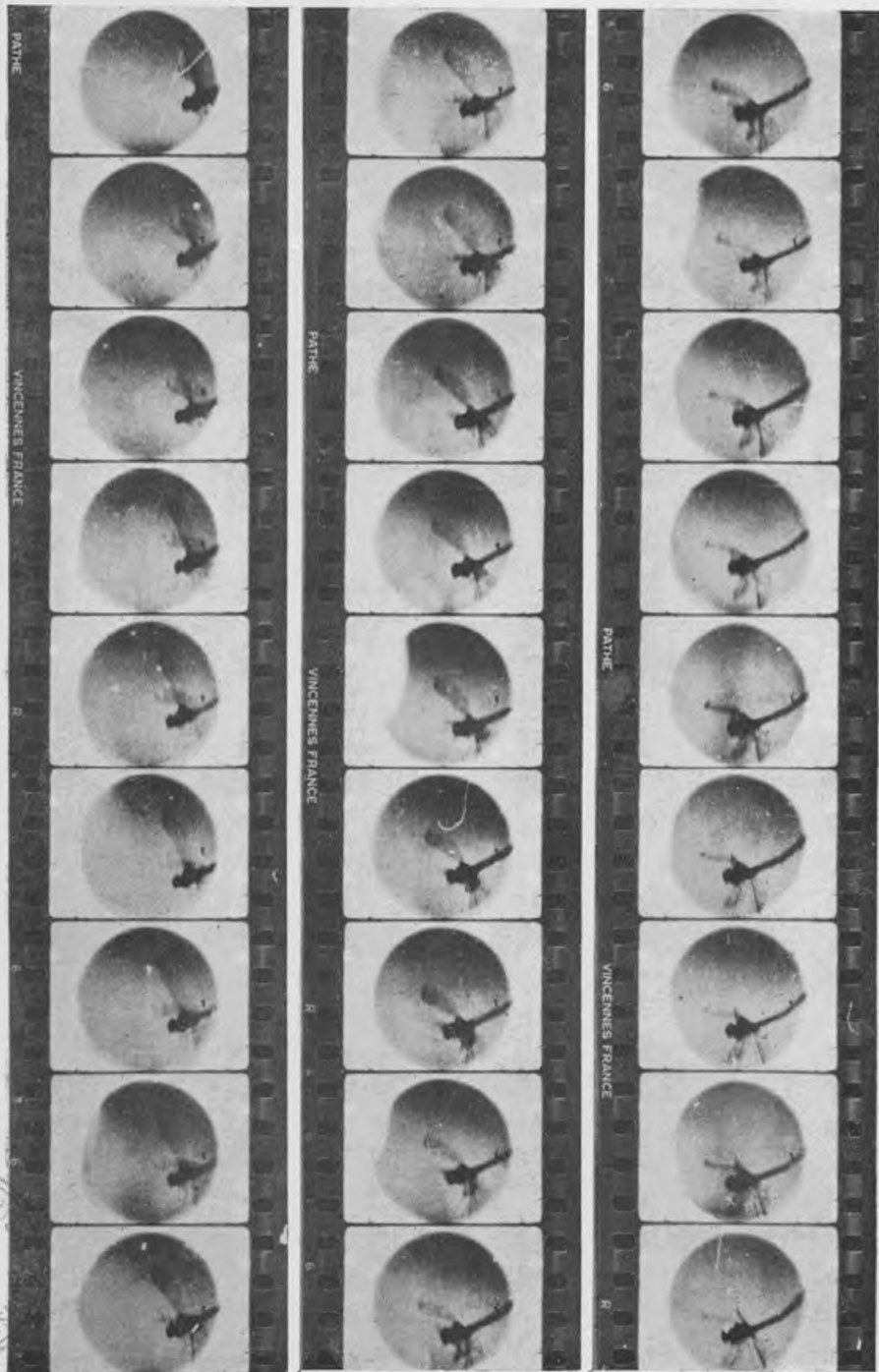


Fig. 30. — Reproduction d'une portion d'un film de projection du vol libre d'une grande libellule (*Aeschna cyanea*).



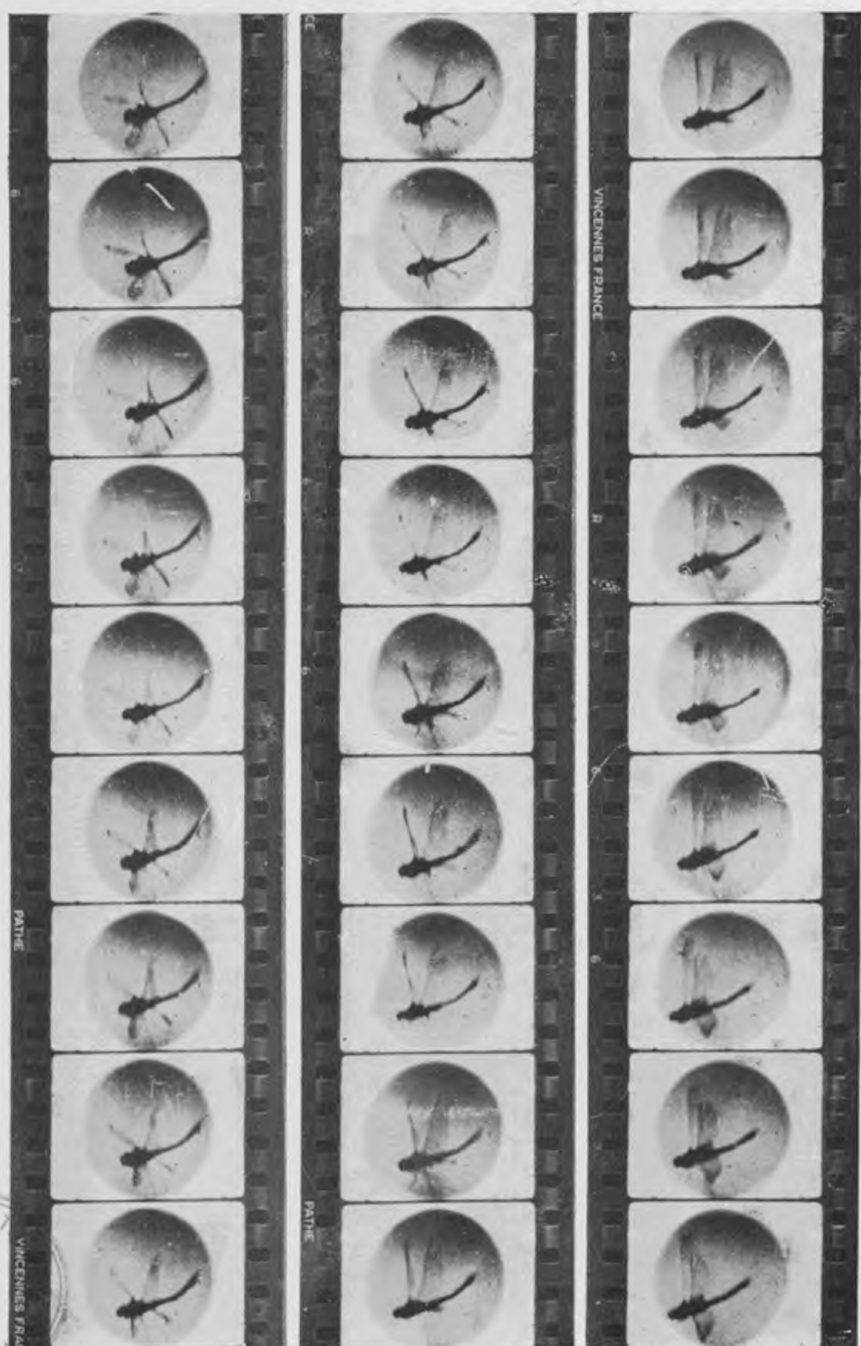


Fig. 30 (suite). — Reproduction d'un film de projection du vol libre d'une grande libellule (*Aeschna cyanea*).



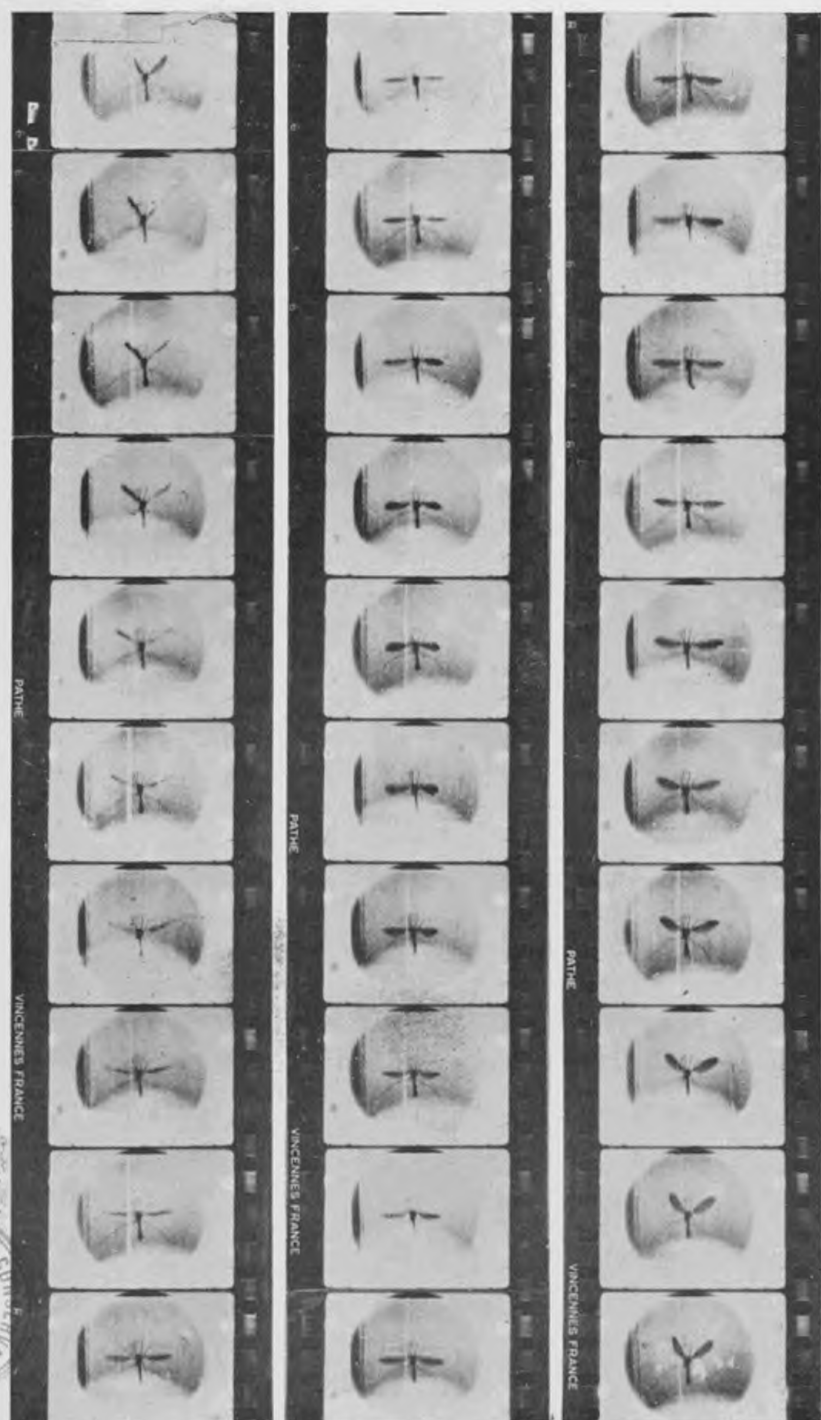


Fig. 31. — Reproduction d'une portion d'un film de projection du vol libre d'une Tipule.



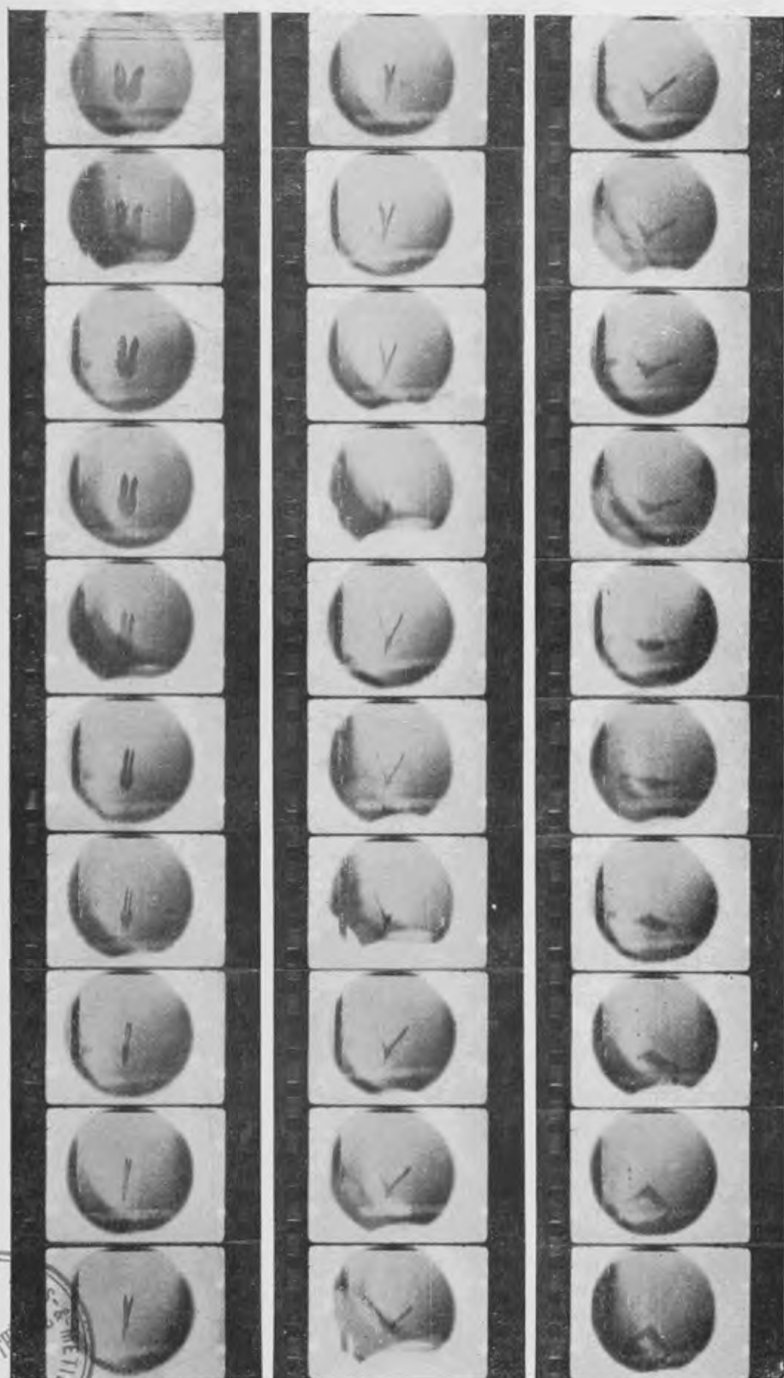


Fig. 32. — Reproduction d'une portion d'un film de projection du vol libre d'un papillon (*Pararga megæra*).





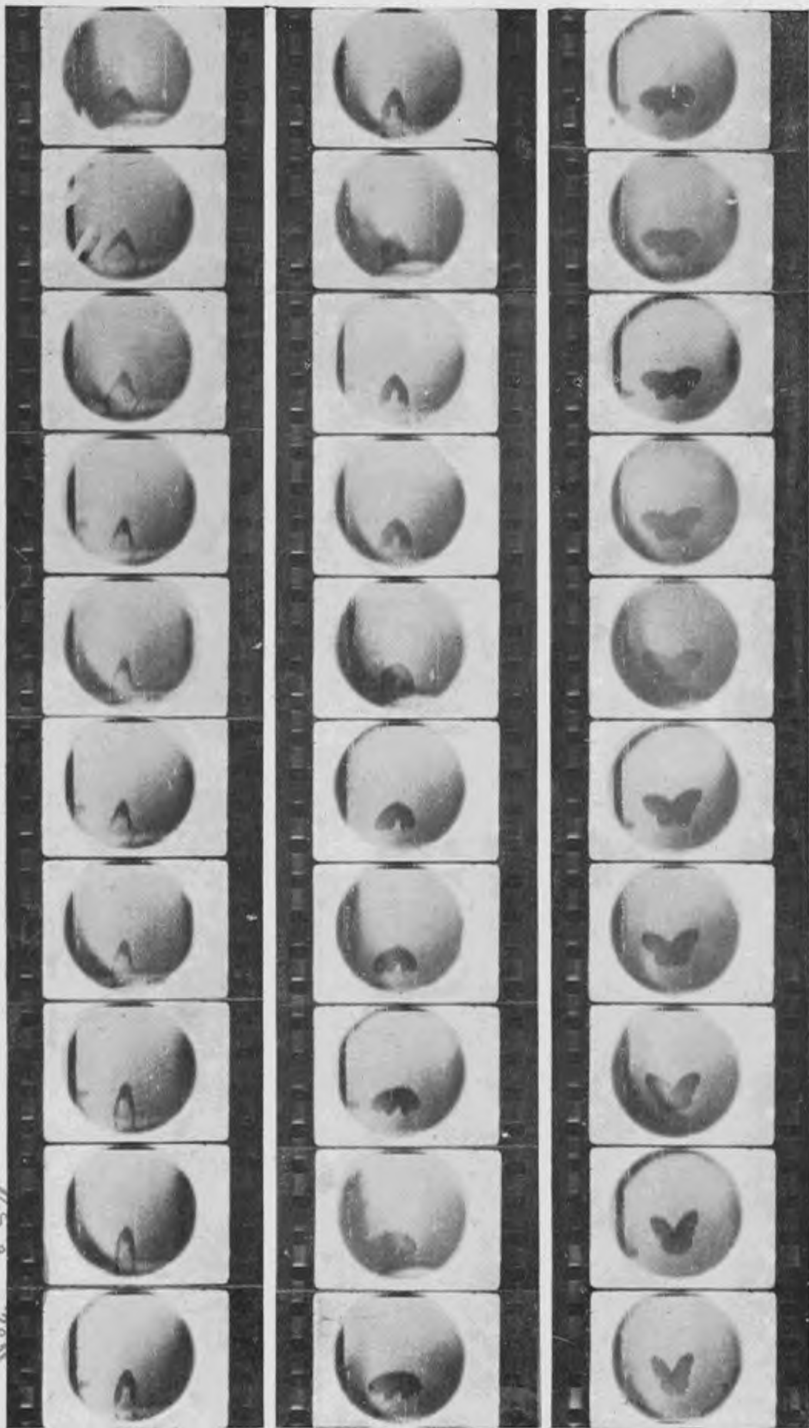


Fig. 32 (suite). — Reproduction d'une portion d'un film de projection du vol libre d'un papillon (*Pararga megera*).











# LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C<sup>ie</sup>

6, rue de la Sorbonne, Paris V<sup>e</sup>

## Actualités Scientifiques et Industrielles

### Série 1929

- I. L. DE BROGLIE. La crise récente de l'optique ondulatoire.  
 II. G. FOEX. Les substances mésomorphes, leurs propriétés magnétiques.  
 III. BLOCH EUGÈNE. Les atomes de lumière et les quanta.  
 IV. L. DUROYER. La cellule photoélectrique et ses applications.  
 V. G. RIBAUD. Le rayonnement des corps incandescents.  
 VI. L<sup>a</sup>-Colonel JULIEN. Applications du courant électrique à la réalisation d'instruments de musique.  
 VII. BLOCH LÉON. Structure des spectres et structure des atomes.  
 VIII. V. KAMMERER. Les hautes pressions de vapeur.  
 IX. R. MESNY. Les ondes dirigées et leurs applications.  
*Conférences réunies en un volume.....* 35 fr.

### Série 1930 :

- X. G. RIBAUD. Température de flammes..... 5 fr.  
 XI. J. CABANNES. Anisotropie des molécules. Effet Raman..... 8 fr.  
 XII. P. FÉBURY. Couleurs et colorimétrie..... 5 fr.  
 XIII. G. GUTTON. Les ondes électriques de très courtes longueurs et leurs applications..... 4 fr.  
 XIV. P. DAVID. L'électro-acoustique..... 5 fr.  
 XV. L. BRILLOUIN. Les statistiques quantiques..... 5 fr.  
 XVI. F. BALDET. La constitution des comètes..... 5 fr.  
 XVII. G. DARMOIS. La structure et les mouvements de l'univers stellaire..... 3 fr.

### Série 1931 :

- XIX. A. PÉRARD. La haute précision des mesures de longueur..... 5 fr.  
 XX. P. AUGER. L'effet photoélectrique des rayons X dans les gaz..... 5 fr.  
 XXII. F. PERRIN. Fluorescence, durée élémentaire d'émission lumineuse..... 5 fr.  
 XXIII. M. DE BROGLIE. Désintégration artificielle des éléments par bombardement des rayons alpha..... 5 fr.  
 XXV. J. J. TRILLAT. Les applications des rayons X à l'étude des composés organiques..... 5 fr.  
 XXVI. J. J. TRILLAT. L'état liquide et les états mésomorphes..... 5 fr.  
 XXVII. Ph. LE CORBEILLER. Les systèmes autoentretenus et les oscillations de relaxation..... 8 fr.  
 XXVIII. F. BEDEAD. Le quartz piézoélectrique, ses applications à la T. S. F... 5 fr.  
 XXIX. E. DARMOIS. L'hydrogène est un mélange : Ortho et parahydrogène.. 5 fr.  
 XXX. R. AUDUBERT. Les piles sensibles à l'action de la lumière..... 8 fr.

### Série 1932 :

- XXXI. L. DE BROGLIE. Généralisations des relations d'incertitude..... 6 fr.  
 XXXII. IRÈNE CURIE & F. JOLIOT. L'existence du neutron..... 6 fr.

Imprimé en France

TYPOGRAPHIE FERMIN-DIDOT ET C<sup>ie</sup>. — PARIS. — 1932.