

## 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 - http://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>	Magnan, Antoine (1881-1938)
<b>Titre</b>	Cinématographie jusqu'à 12000 vues par seconde : avec application à l'étude du vol des insectes
<b>Adresse</b>	Paris : Hermann & Cie, éditeurs, 1932
<b>Collection</b>	Actualités scientifiques et industrielles, 46. Exposés de morphologie dynamique et de mécanique du mouvement, 3
<b>Collation</b>	1 vol. (19 p.-14 f. de pl.) : ill. ; 26 cm
<b>Nombre d'images</b>	55
<b>Cote</b>	CNAM-BIB 8 B 83 (46)
<b>Sujet(s)</b>	Chronophotographie Cinéma -- Applications scientifiques Cinéma -- Technique Insectes -- Vol
<b>Thématique(s)</b>	Technologies de l'information et de la communication
<b>Typologie</b>	Ouvrage
<b>Langue</b>	Français
<b>Date de mise en ligne</b>	21/01/2021
<b>Date de génération du PDF</b>	20/01/2021
<b>Permalien</b>	<a href="http://cnum.cnam.fr/redir?8B83.46">http://cnum.cnam.fr/redir?8B83.46</a>

8° B.83/46-



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

XLVI



**EXPOSÉS DE MORPHOLOGIE DYNAMIQUE**  
et de Mécanique du mouvement

Publiés sous la direction de

**M. A. MAGNAN**

Professeur au Collège de France



III

**CINÉMATOGRAPHIE**

**JUSQU'À 12000 VUES PAR SECONDE**

(Avec application à l'étude du vol des Insectes)

PAR

**A. MAGNAN**



PARIS

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

6, Rue de la Sorbonne, 6

—  
1932









7185

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

XLVI

**EXPOSÉS DE MORPHOLOGIE DYNAMIQUE**

et de Mécanique du mouvement

Publiés sous la direction de

**M. A. MAGNAN**

Professeur au Collège de France

III

**CINÉMATOGRAPHIE**

**JUSQU'À 12000 VUES PAR SECONDE**

(Avec application à l'étude du vol des Insectes)

PAR

**A. MAGNAN**



PARIS

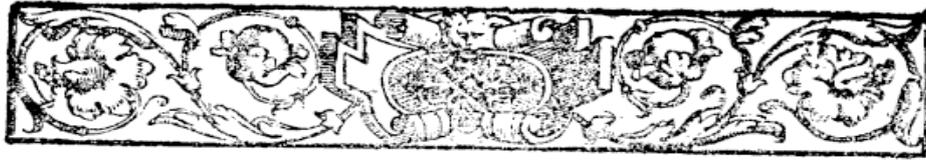
**HERMANN & C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS**

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>o</sup>,  
PARIS.

Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



## CINÉMATOGRAPHIE ULTRA-RAPIDE JUSQU'À 12.000 VUES PAR SECONDE

(Travaux du laboratoire de Mécanique animale appliquée  
à l'Aviation du Collège de France)



UN mémoire sur les premiers essais de cinématographie ultra-rapide a déjà été publié dans cette collection (1). La méthode employée consistait à séparer le film de dimensions courantes, c'est-à-dire de 35 millimètres de largeur, en un certain nombre de bandes impressionnées chacune par un objectif spécial, les divers objectifs travaillant à tour de rôle à intervalles de temps égaux (2).

A cet effet, 4 objectifs de petites dimensions ont été placés côte à côte, chacun couvrant  $\frac{1}{4}$  de la largeur du film et donnant ainsi des images qui ont environ 6 millimètres sur 5 millimètres. Devant ces objectifs, tourne un obturateur, 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 première fente d'une autre série vienne à son tour découvrir le premier objectif. Il en résulte que, sur la surface 24 mm.  $\times$  18 mm. occupée par une image ordinaire, on peut loger au moins 12 vues.

Au cours des premiers essais, il a été possible d'impressionner, par ce procédé, jusqu'à 3.200 images à la seconde.

(1) A. MAGNAN. — Premiers essais de cinématographie ultra-rapide (*Exp. de Morphologie dynamique et de Mécanique du Mouvement*, n° 1, Hermann, 1932).

(2) HUGUENARD et MAGNAN. — Sur un cinématographe ultra-rapide donnant de 2.000 à 3.000 vues par seconde. C. R. A. S., 1<sup>er</sup> juin 1931.

**CINÉMATOGRAPHIE JUSQU'À 5.000 IMAGES PAR SECONDE**

J'ai noté alors quels étaient les défauts que présentait ce cinématographe : au cours des recherches que j'ai poursuivies depuis, dans le laboratoire de mécanique animale du Collège de France, avec l'aide de M. Chiffot, en grande partie grâce aux crédits mis à ma disposition par le Service des Recherches de l'Aéronautique, j'ai cherché à faire disparaître ces défauts, à améliorer l'appareil de prise de vues et en particulier à obtenir des images bien séparées et de dimensions sensiblement égales.

Pour cela, ont été construites des plaques, percées de 4 fenêtres rectangulaires, égales et réglables. Chaque plaque (fig. 1) comprend une fente de 24 millimètres de largeur sur 6 mm. 5 de hauteur devant laquelle est posée une sorte de cornière coulissante, munie de 4 séparations qui donnent une fois pour toutes la largeur des images. La cornière peut glisser du haut vers le bas et réciproquement ; on règle sa position suivant le nombre de vues que l'on veut avoir et de façon que les vues ne chevauchent pas les unes sur les autres.

Cela a amené aussi à établir de nouveaux obturateurs dont les fentes coïncident exactement avec les fenêtres de la plaque précédente. Les obturateurs utilisés sont maintenant à 7 séries de 4 fentes percées avec toute la précision possible. Par contre, il a été impossible de modifier l'appareil Noguès qui sert de bâti et d'organe de mouvement au cinématographe ultra-rapide, pour permettre à l'obturateur de tourner au ras de la pellicule, sa forme s'y opposant.

Pour assurer une mise au point convenable du groupe d'objectifs monté sur son bloc, il a fallu édifier un système à crémaillère sur lequel est fixé le bloc (fig. 2) qui peut ainsi avancer ou reculer dans les limites voulues et permet d'avoir pour chaque objectif une image nette sur le film.

Comme, d'autre part, les images, sur l'un des côtés de la bande, étaient plus réduites que les autres, nous avons fini par nous rendre compte que l'axe optique de l'objectif normal de l'appareil Noguès était déporté d'environ 4 millimètres à droite. En remédiant à cette disposition, nous avons pu obtenir des bandes complètement couvertes.

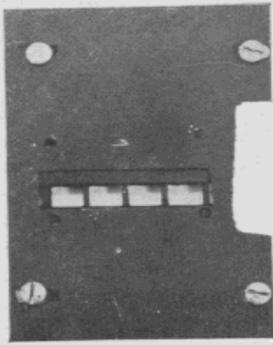


Fig. 1.  
Plaque à 4 fenêtres  
réglables.

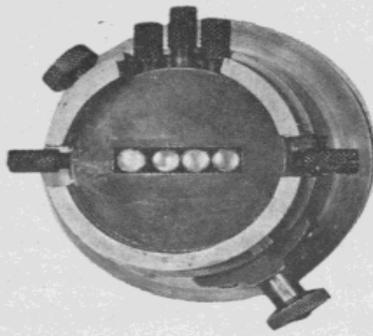


Fig. 2. — Bloc à 4 objectifs  
avec les vis pour régler la  
convergence et la mise au  
point.

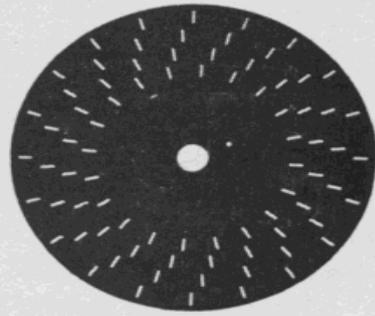
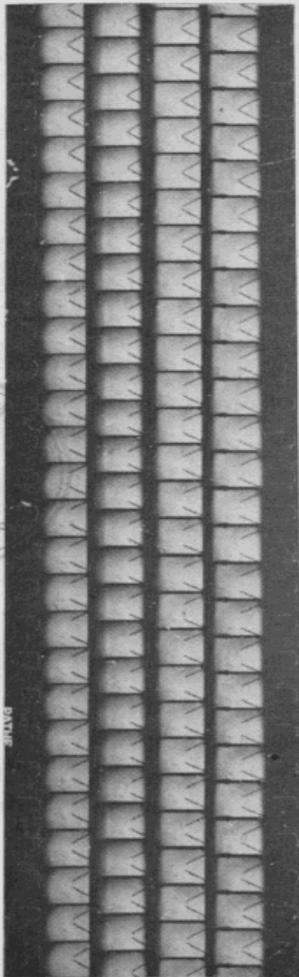


Fig. 7.  
Obturateur à 20 séries  
de 4 fentes.



Enregistrement d'un diapason donnant 48 vibrations à la seconde  
Fig. 4. (5.200 vues par seconde)

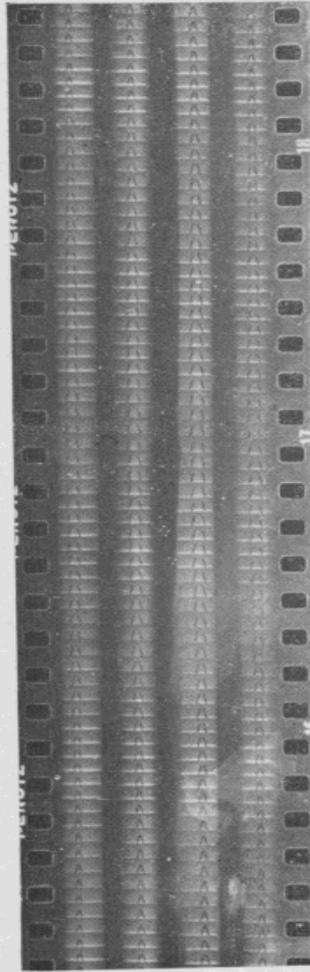


Fig. 8.

(10.500 vues par seconde)

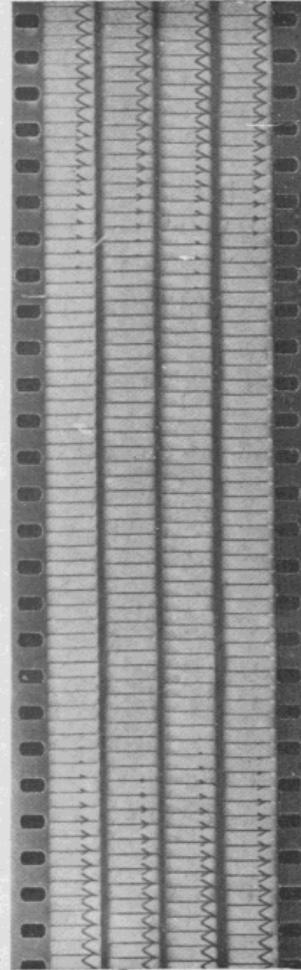


Fig. 9.

(12.288 vues par sec.)

[Pour toutes les cinématographies, lire de gauche à droite et de haut en bas]



De plus, pour donner un centrage convenable aux images des objets cinématographiés sur la pellicule, ce qui était impossible, au début, avec les objectifs employés qui étaient montés de façon rigide dans leur bloc, j'ai imaginé de les fixer sur des tubes placés dans un évidement central du bloc ; ces tubes sont montés à l'arrière sur pivots, de manière à pouvoir se déplacer latéralement ; grâce à 3 vis-pointaux dont chacune pénètre entre 2 tubes, il est possible d'obtenir l'écartement voulu (fig. 2). Enfin, 2 vis latérales permettent de bloquer les objectifs dans la position que l'on veut. Dans ces conditions, on obtient la convergence des rayons et par conséquent le centrage des images quelles que soient les distances à l'appareil de l'objet étudié.

D'autre part, pour avoir la même intensité pour chaque bande d'images sur la pellicule, le diamètre utile de l'objectif situé vers le centre de l'obturateur, et qui donnait des images légèrement surexposées à cause de la moins grande vitesse de l'obturation à cet endroit, a été réduit à 3 mm. 5 au moyen d'un diaphragme.

Les nouveaux objectifs employés sont toujours de simples lentilles de verre, achromatiques, de 4 millimètres de diamètre et de 50 millimètres de foyer, ouverts à  $f : 12,5$ , donc très peu lumineux.

Afin de remédier aux halos et aux empiètements des cônes lumineux les uns sur les autres, il a été nécessaire, pour supprimer les empiètements, de donner aux tubes-objectifs une longueur déterminée et de les faire arriver au ras de l'obturateur et, pour supprimer les halos, d'enduire de noir l'intérieur des tubes et de les rayer hélicoïdalement.

Pour éviter les rayures qui existaient, au début, sur les films, par suite de leurs frottements sur les parois de l'appareil, frottements qui étaient dus au manque de place entre les parois et les rouleaux de guidage, il a fallu enlever le rouleau supérieur, ce qui a finalement permis de donner une plus grande vitesse de déroulement au film.

Comme dans les premiers essais, le film cinématographique, représenté en P (fig. 3), est déroulé d'un mouvement uniforme perpendiculairement au plan de la figure, guidé par un couloir à la manière habituelle.

A une certaine distance du film, se trouve placé l'objet I à

cinématographier dont les 4 objectifs 1, 2, 3, 4, montés sur des tubes T et disposés l'un à côté de l'autre horizontalement donnent, sans obturateur, 4 images sur le film, *a*, *b*, *c*, *d*, images bien séparées par les fenêtres de la plaque F. Ces 4 images peuvent être convenablement centrées grâce au dispositif décrit ci-dessus. Lorsque le film se déroule, chaque objectif impressionne donc

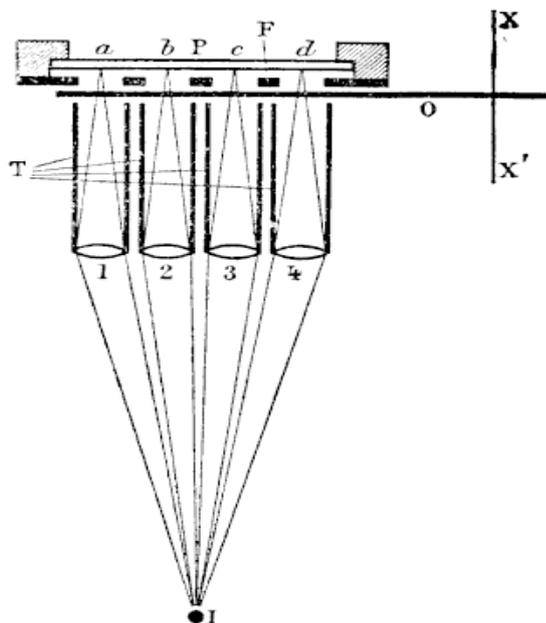


Fig. 3. — Schéma de montage du nouveau modèle du cinématographe ultra-rapide.

une bande déterminée de la pellicule P, les tubes T empêchant un objectif d'envoyer de la lumière sur la bande affectée à un autre objectif.

En avant du film, à une petite distance de sa surface, se trouve disposé l'obturateur circulaire O tournant autour d'un axe XX' en sens inverse du déroulement de la pellicule.

Cet obturateur qui porte 7 séries de 4 fentes réparties sur sa surface sépare les images les unes des autres sur chacune des bandes, les images occupant sur la pellicule une largeur de 5 mm. 5 et une hauteur d'environ 4 mm. 5.

Les expériences qui ont été effectuées par la suite, ont toutes été faites au laboratoire à l'aide de la lumière d'un petit arc continu ; pour accroître l'intensité lumineuse fournie par cet arc,

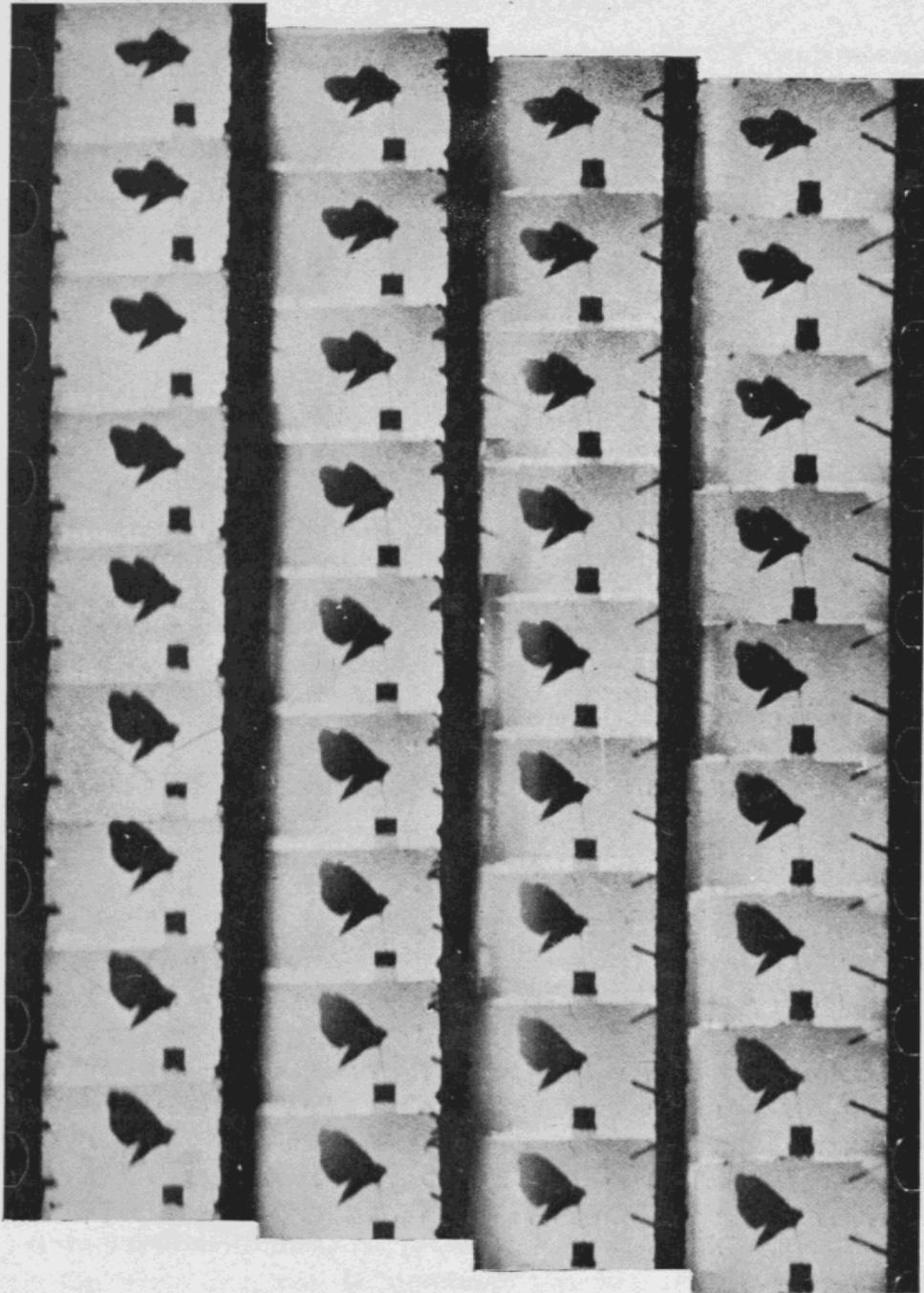


Fig. 6.

Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib. /sec.)  
et du battement des ailes d'un papillon (*Triphæna pronuba* L.) vu de côté,  
(3,648 vues par seconde)



on a placé devant lui un condensateur de 22 centimètres de diamètre. Grâce à ce dispositif et en tournant à la main, plus de 5.000 vues à la seconde ont été enregistrées sur des films de sensibilité ordinaire, comme le montre la figure 4, qui représente l'enregistrement d'un diapason donnant en principe 50 vibrations et en réalité 48 par seconde. La figure 5 montre comment ces vues sont disposées sur la pellicule.

Au cours de ces essais, la vitesse du film a dépassé 5 m/sec, puisqu'on a placé à la suite pour chacune des bandes d'images fournies par les 4 objectifs 1.250 vues par seconde, ce qui équivaut à une longueur de 5 m. 6, chaque image ayant 4 mm. 5 de hauteur. Comme, à chaque tour, l'obturateur impressionne 28 images, il a donc tourné à raison de 180 tours par seconde.

La largeur des fentes de l'obturateur correspond à un temps d'impression qui est de l'ordre de  $1/50.000^e$  de seconde. Les 4 fentes transversales d'un même groupe passent donc à une époque

$$t, \quad t + \frac{1}{5.000}, \quad t + \frac{2}{5.000}, \quad t + \frac{3}{5.000}.$$

La vue suivante se produit à  $t + \frac{4}{5.000}$ , c'est-à-dire à  $t + \frac{1}{1.250}$ , à l'aide de la première fente du groupe suivant décalé de  $1/7$  de tour par rapport à la précédente série de fentes, d'où 4 vues espacées de  $1/5.000^e$  de seconde en  $1/1.250^e$  de seconde sur une ligne transversale un peu oblique (fig. 5). La figure 6 permet de se rendre compte des progrès réalisés. Elle représente l'enregistrement d'un diapason donnant 48 vibrations par seconde et d'un papillon (*Triphæna pronuba* L.) au point fixe.

On voit que, par le nouveau procédé, les images sont bien centrées, égales, nettes et uniformes.

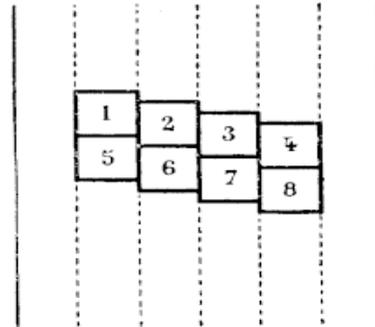


Fig. 5. — Position des images sur le film avec les 4 nouveaux objectifs placés horizontalement.

## CINÉMATOGRAPHIE JUSQU'À 12.000 VUES PAR SECONDE

On était en droit de se demander s'il ne serait pas possible d'obtenir encore un plus grand nombre de vues par seconde, ce qui serait nécessaire dans le cas d'un insecte donnant plusieurs centaines de coups d'ailes par seconde. J'y suis parvenu avec la pellicule normale de 3 cm. 5 de largeur, en réglant les fenêtres de la plaque de manière à leur donner une hauteur de 1 mm. 8 et en construisant un obturateur comprenant 20 séries de 4 fentes (fig. 7). J'ai ici encore utilisé le bloc à 4 objectifs réglables. Dans ces conditions, dès le début, je suis arrivé à obtenir une fréquence d'enregistrement de 10.500 vues par seconde, puis bientôt 12.288 vues par seconde comme le montrent la figure 8 et la figure 9, qui représentent l'enregistrement des mouvements du diapason à 48 vibrations par seconde.

La vitesse du film est ici de près de 5 m/sec et l'obturateur ne fait que 150 t/sec.

La largeur des fentes de l'obturateur correspond dans ce cas à un temps d'impression, qui est d'environ  $1/42.000^e$  de seconde. Sur une même bande d'images, les fentes successives passent à la cadence de 3.000 par seconde, en répétant encore le raisonnement fait pour la fréquence de 5.000 vues par seconde.

Pendant ce temps l'obturateur fait  $1/20^e$  de tour. Les 4 fentes transversales d'un même groupe de vues passent à une certaine époque

$$t, \quad t + \frac{1}{12.000}, \quad t + \frac{2}{12.000}, \quad t + \frac{3}{12.000},$$

La vue suivante se produit à  $t + \frac{4}{12.000}$ , c'est-à-dire à  $t + \frac{1}{3.000}$  à l'aide de la première fente du groupe suivant, décalée de  $1/20^e$  de tour par rapport à la précédente série de fentes.

On fait donc 4 vues espacées de  $1/12.000$  de seconde en  $1/3.000^e$  de seconde sur une ligne transversale à peine oblique, puis une nouvelle série de 4 vues et ainsi de suite. Nous avons adapté ce dispositif à l'étude du vol de certains insectes, comme le montre la figure 10 qui reproduit l'enregistrement d'un diapason à 48 vibrations, à la fréquence de 12.288 vues par seconde, et d'un papillon. On se rend compte que les images sont nettes, bien sé-

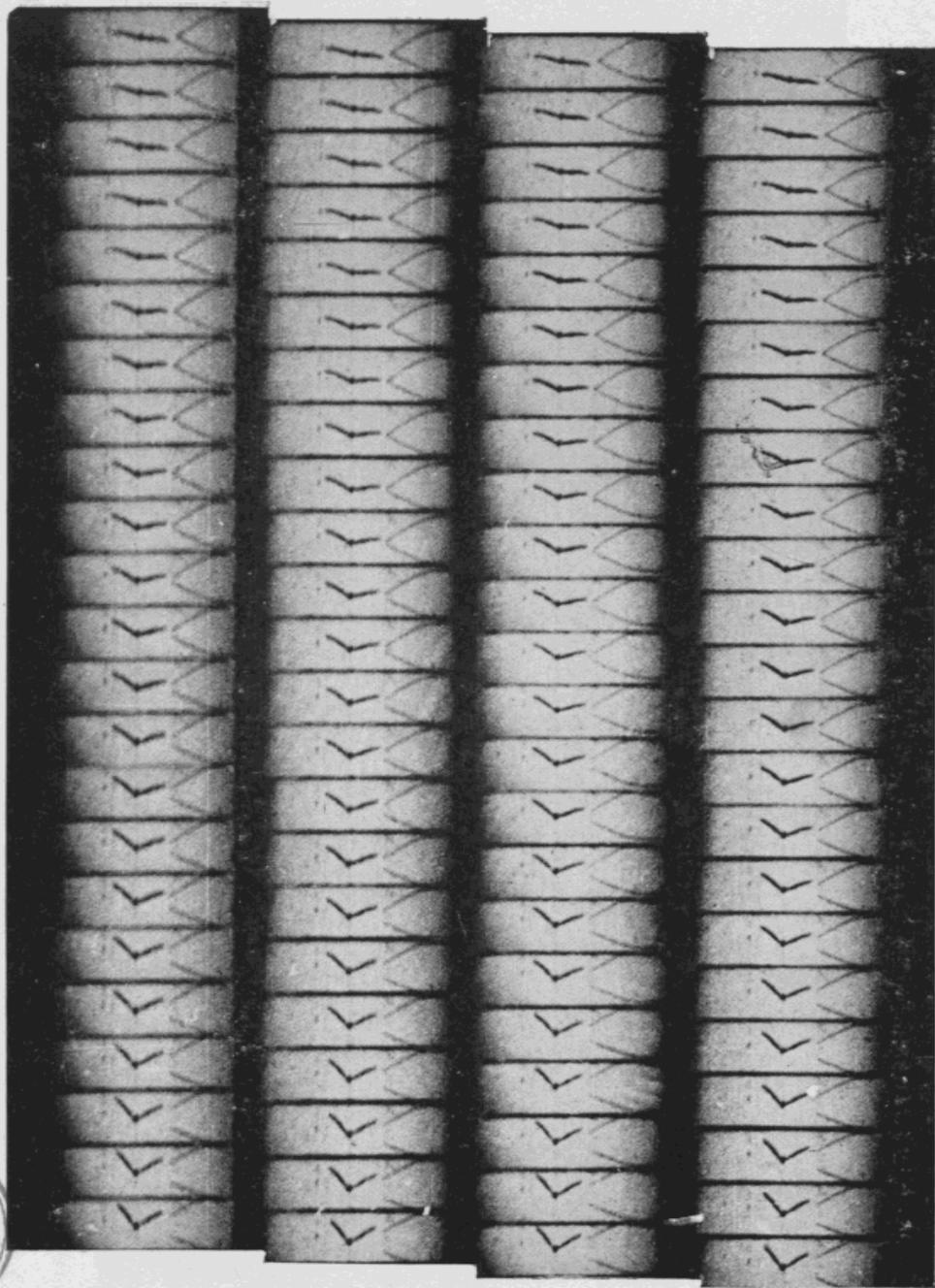
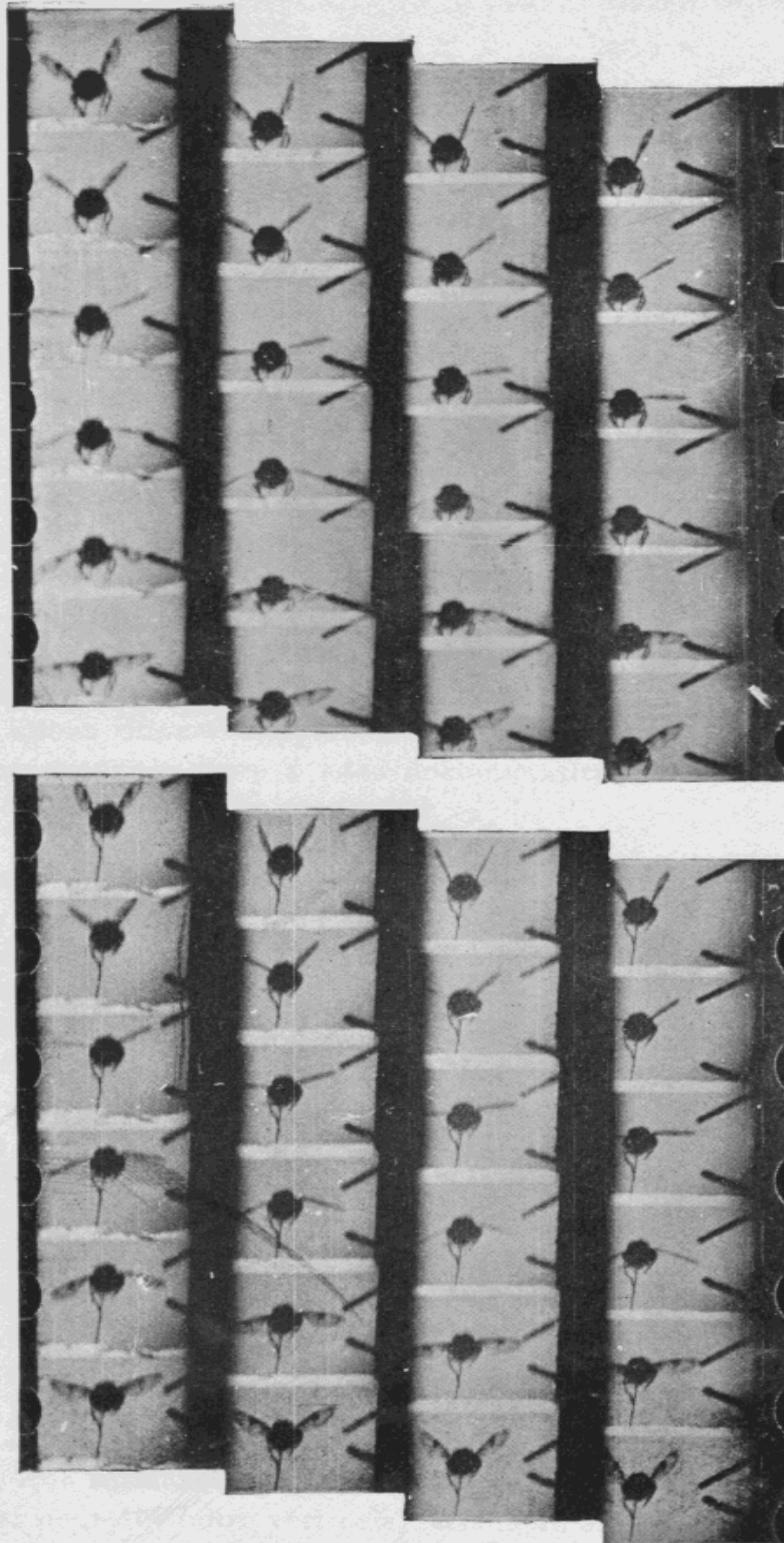


Fig. 10.  
Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.)  
et du battement des ailes d'un Papillon (*Vanessa levana* L.) vu de face.  
(12.288 vues par seconde)





Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.)  
et du battement des ailes d'une Volucelle (*Volucella plumata* Meig.).  
Fig. 11. — En haut : libre dans une cuve (3.368 vues par seconde).  
Fig. 12. — En bas : au point fixe (3.072 vues par seconde).



parées et que l'impression photographique est maintenant uniforme.

#### APPLICATION A L'ÉTUDE DU MOUVEMENT DES AILES DES INSECTES

J'ai naturellement cherché à utiliser cet appareil de prises de vues rapides à une étude qui m'était déjà familière, l'étude du vol des insectes.

Ces expériences ont déjà porté sur 44 espèces différentes qui ont été étudiées au laboratoire, soit en vol libre, soit en liberté au bout d'un fil, soit enfermées dans une cuve à faces parallèles pour faciliter l'enregistrement, soit fixées à l'extrémité d'une pince, ce qui réussit fort bien pour beaucoup d'espèces qui refusent de battre des ailes dans un récipient où elles ne peuvent évoluer comme il leur plait ; tel est le cas pour la plupart des Hyménoptères.

Nous allons donner simplement le résultat des observations que nous avons pu faire à titre documentaire, sans émettre ici la moindre théorie au sujet du vol.

*Diptères.* — Nous dirons tout d'abord que la plupart des Diptères évoluent pendant les essais aussi bien au point fixe qu'en vol libre. Toutes les espèces examinées ont prouvé que le mouvement des ailes reste à peu près le même dans les 2 cas comme on peut le voir sur les figures 11 et 12 qui représentent une volucelle en vol libre dans une cuve et la même volucelle au point fixe.

On constate d'abord un rapprochement des ailes au-dessus du corps de l'animal, celles-ci restant toujours nettement séparées et faisant entre elles un angle de 30 à 40°. Puis chaque aile s'abaisse déployée au maximum avec une certaine inclinaison, de l'ordre de 10°, de son plan vers l'avant, le bord antérieur étant plus bas que le postérieur. Vue de face elle se présente presque par la tranche, sans flexion apparente.

La pointe de l'aile ne descend pas en général beaucoup plus bas que l'horizontale passant par son point d'attache. A ce moment se produit un retournement rapide de l'aile et on aperçoit alors presque totalement sa face inférieure, ce qui revient à dire qu'elle est pour ainsi dire verticale, faisant un angle presque droit avec la position précédente. Puis elle remonte dans cette position

jusqu'à ce qu'elle soit nettement au-dessus du corps. Alors les bords antérieurs se rapprochent, puis un nouveau retournement du plan a lieu et les plans alaires forment un dièdre aigu quand les bords postérieurs se rapprochent.

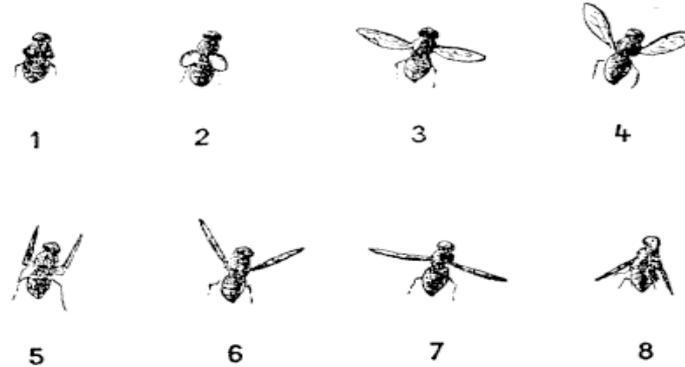


Fig. 13. — Attitudes diverses des ailes d'une Mouche (*Musca domestica* L.) vue de dessus, pendant un battement.

On constate que dans les 2 cas, vol libre et vol au point fixe, la fréquence de battements est sensiblement la même ainsi que les attitudes de vol. Ce schéma se rencontre pour tous les diptères que j'ai étudiés de face.

Les cinématographies de tels insectes, prises par dessus, révèlent encore le même mouvement d'ailes, mais on observe quelque

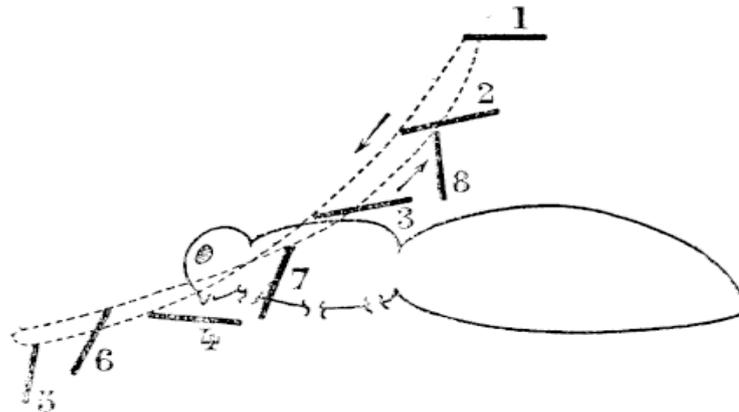


Fig. 14. — Trajectoire du milieu du bord d'attaque de l'aile d'une Mouche pendant un battement, avec sections antéro-postérieures passant par ce point.

chose de plus. Quand les ailes sont abaissées, leurs pointes sont portées en avant (fig. 13) comme on le voit chez les pigeons en

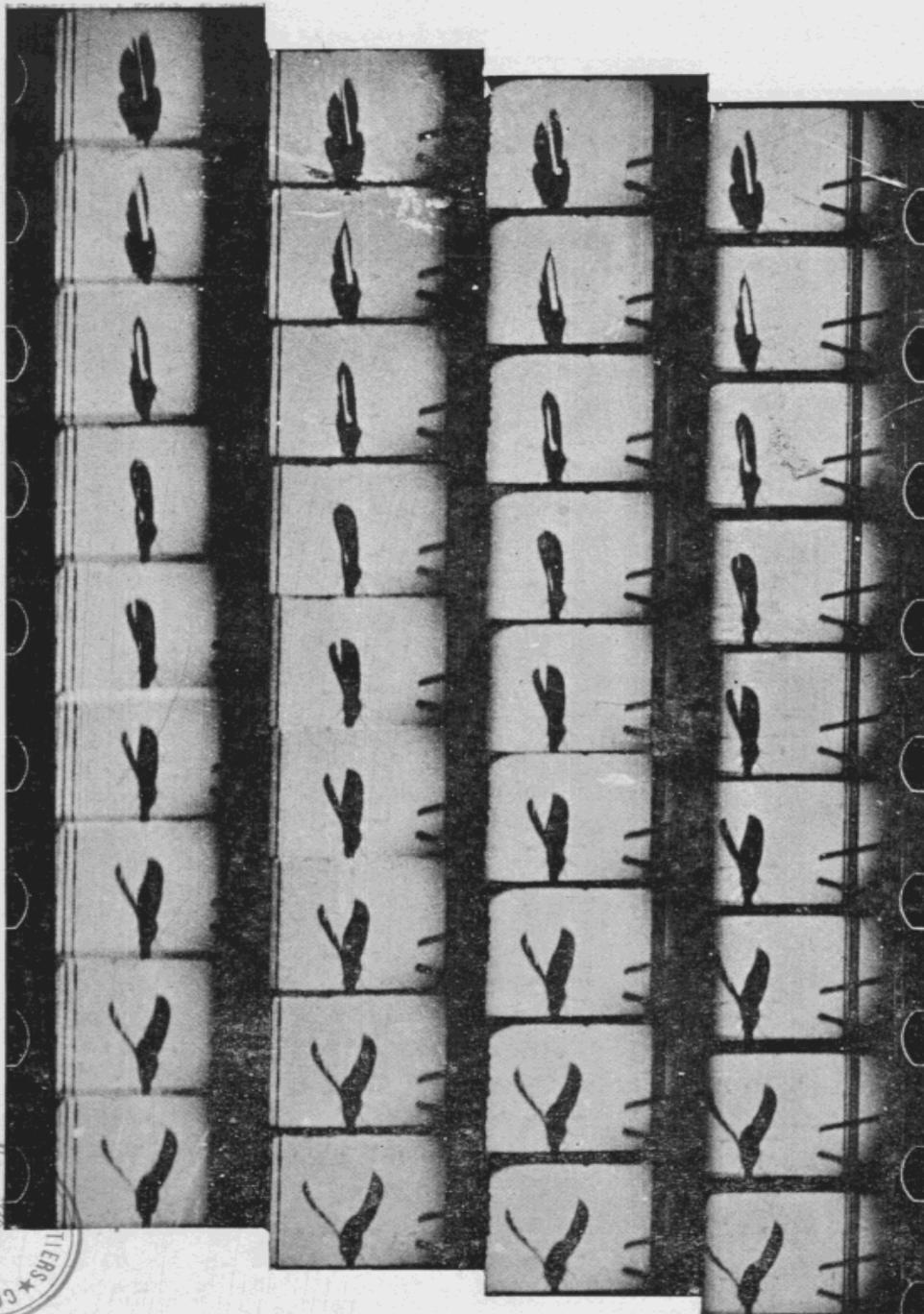


Fig. 15. — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'un Papillon (*Rhodocera rhamnii* L.) libre dans une cuve.  
(3.072 vues par seconde)



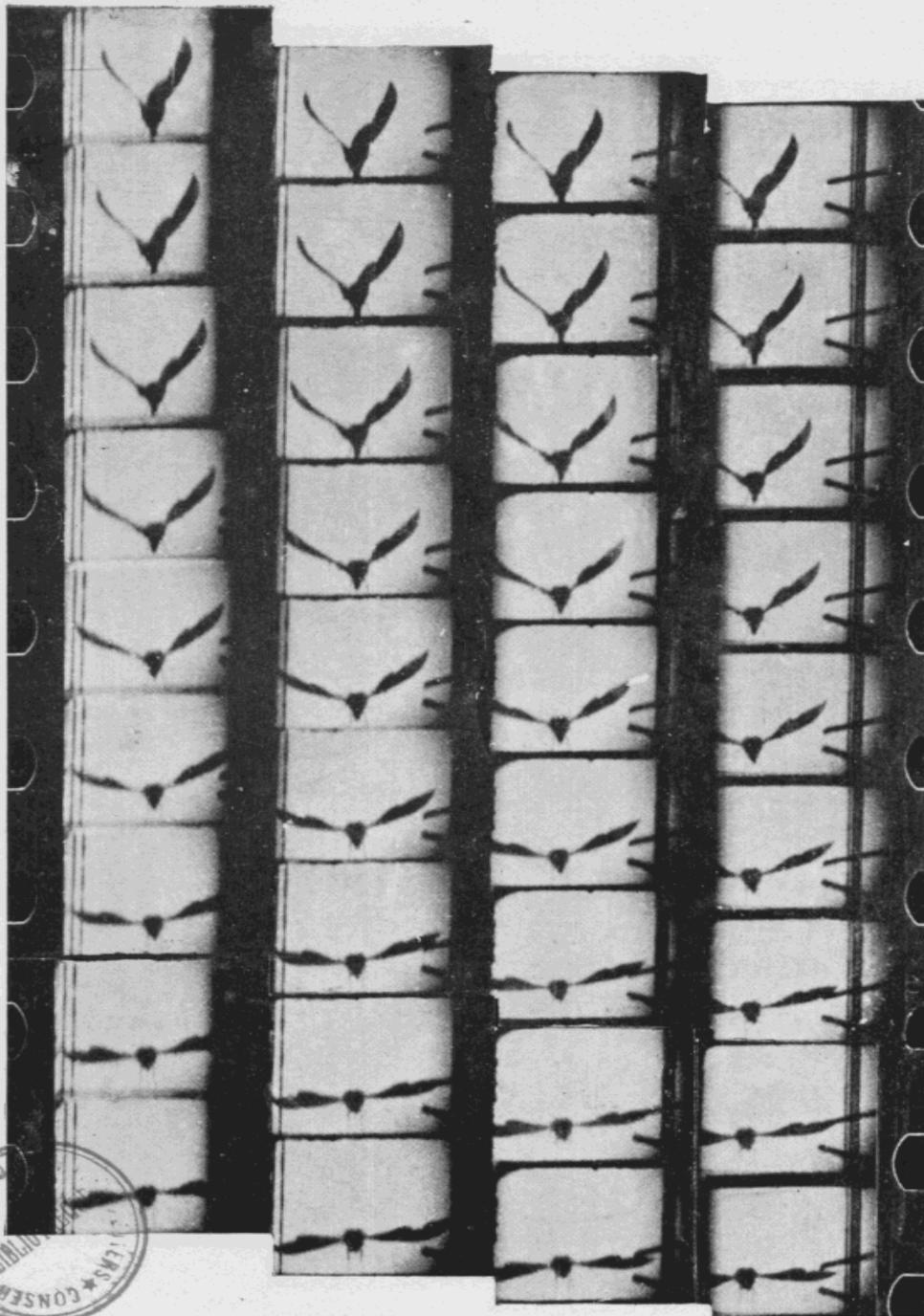


Fig. 15 (suite). — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'un Papillon (*Rhodocera rhamnii* L.) libre dans une cuve.  
(3.072 vues par seconde)



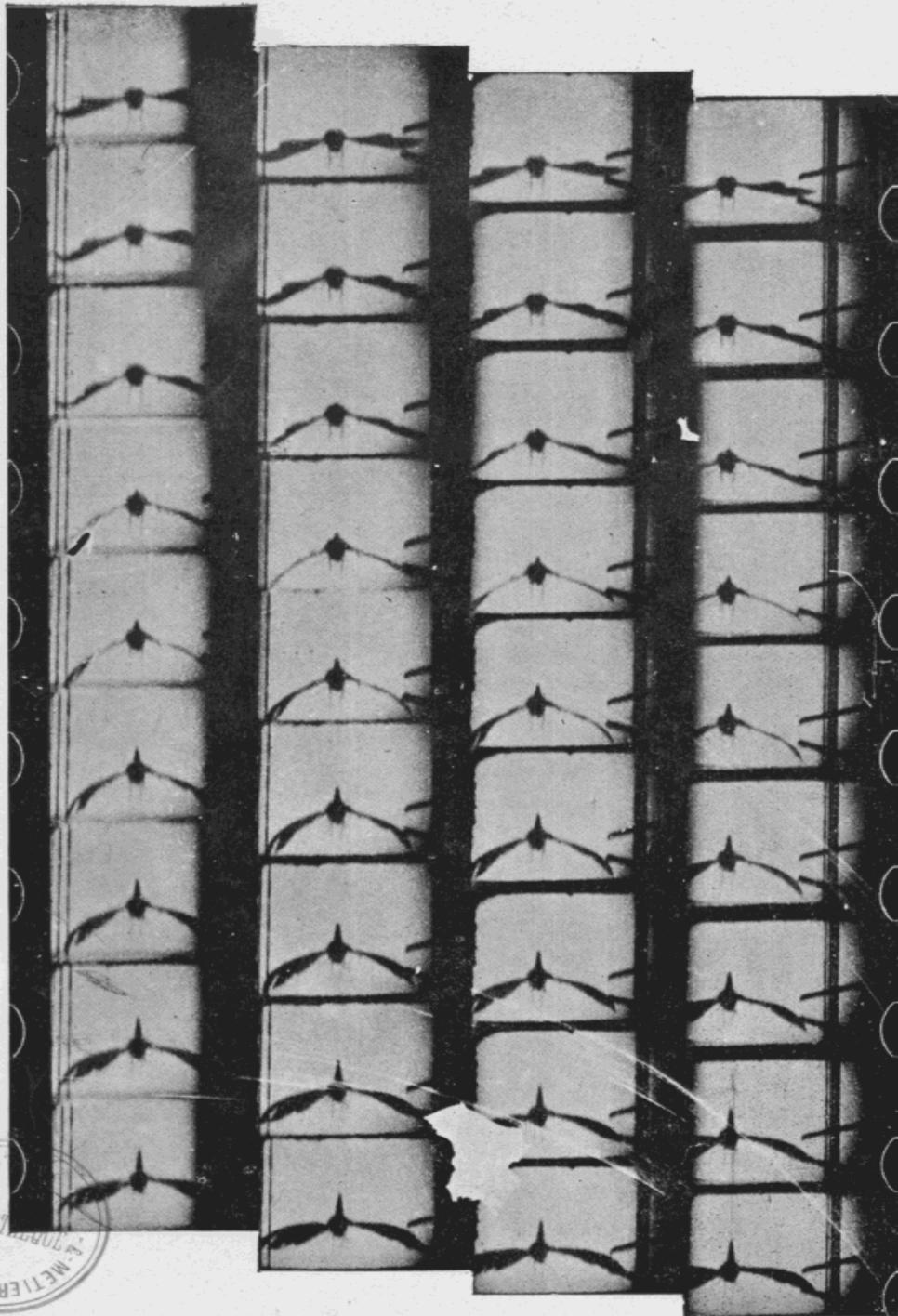


Fig. 15 (suite). — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'un Papillon (*Rhodocera rhamni* L.) libre dans une cuve. (3.072 vues par seconde)



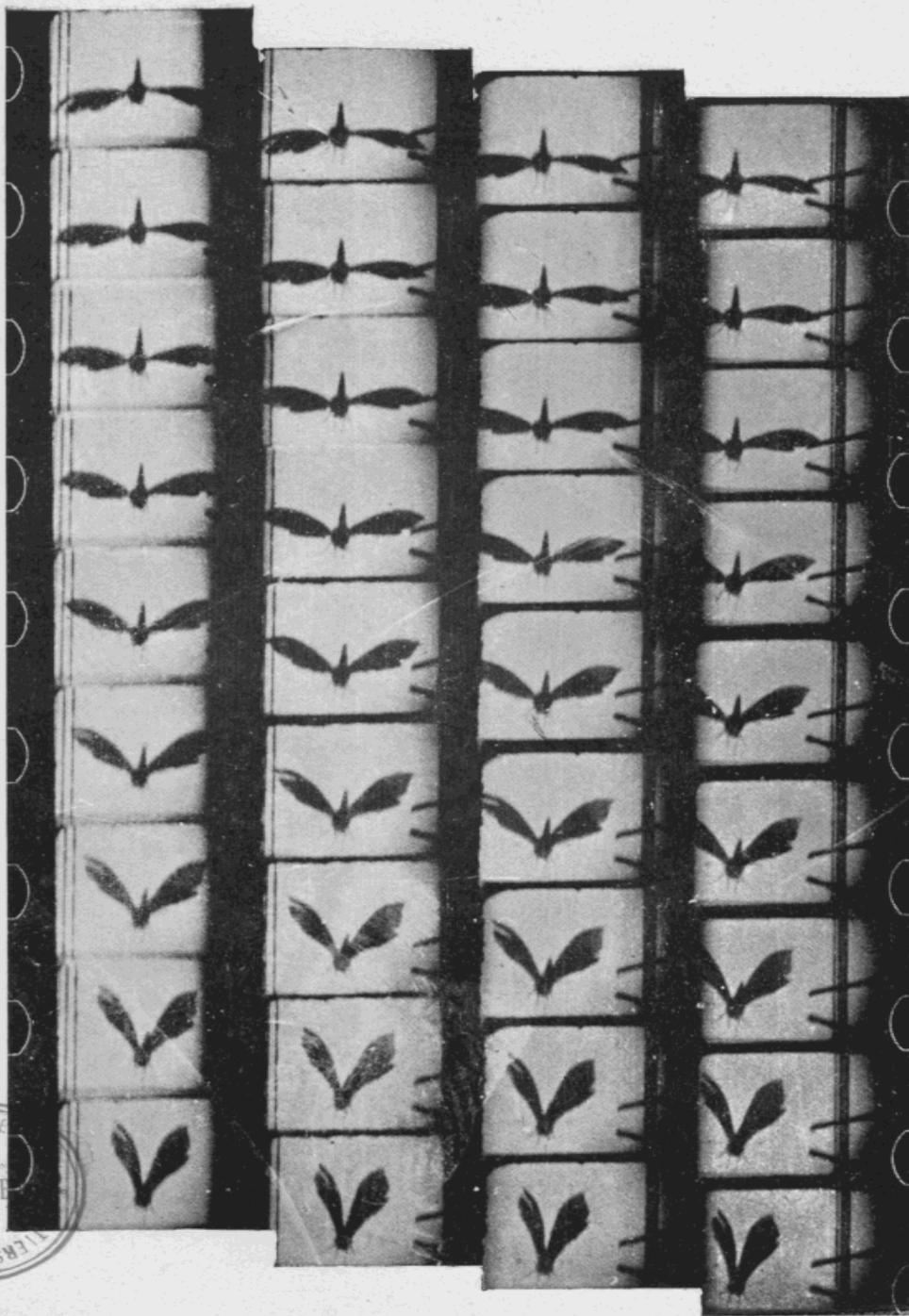


Fig. 15 (suite). — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'un Papillon (*Rhodocera rhamni* L.) libre dans une cuve.  
(3.072 vues par seconde)





Fig. 16. — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du vol libre d'un Papillon (*Plusia gamma* L.). (2.488 vues par seconde)



vol et se rapprochent l'une de l'autre. Chaque aile paraît tordue près de sa partie proximale ; elle apparaît alors vue par sa tranche, ce qui prouve que son plan est presque perpendiculaire au plan horizontal passant par l'axe du corps. Les ailes se relèvent pour ainsi dire verticalement, vues par la tranche avec une faible épaisseur, en s'écartant l'une de l'autre et en se plaçant de plus en plus dans un même plan vertical jusqu'au rapprochement voulu au-dessus du thorax. A ce moment il y a retournement et l'aile s'abaisse à plat en portant de plus en plus sa pointe vers l'avant. Le schéma d'un tel battement est indiqué sur la figure 14.

*Hyménoptères.* — Pour les Hyménoptères qui ont 2 paires d'ailes, le mouvement reste identique au précédent dans l'ensemble, mais on constate que les 2 ailes d'un même côté sont comme soudées par leurs bords contigus pendant le battement comme si elles ne faisaient qu'une seule aile.

*Lépidoptères.* — En ce qui concerne les Lépidoptères qui ont 2 paires d'ailes ne constituant qu'une seule paire pendant le vol comme le montrent tous les enregistrements, on observe encore le même mouvement des ailes, ainsi que l'indique le film de la figure 15 qui représente un *Rhodocera rhamni* en vol libre dans une cuve. Au début du battement, il y a rapprochement considérable des ailes qui viennent se toucher au-dessus du corps par leur face supérieure. Puis, pendant l'abaissement, l'aile descend à plat toujours de la même façon avec un angle de son plan avec le plan horizontal de 15° environ. A la fin de l'abaissement, les 2 ailes qui sont toujours à plat, les pointes dirigées vers l'avant, font entre elles un angle assez aigu. Elles se retournent brusquement en fin de course, le bord antérieur regardant vers le haut et elles remontent ainsi. Quand les 2 bords antérieurs sont voisins, les 2 plans se rapprochent à leur tour et viennent s'accoler l'un à l'autre par leur face supérieure.

La figure 15 est intéressante parce qu'elle montre que les papillons, appuyés au début sur le sol, s'élèvent surtout à la fin de l'abaissement et gagnent alors par un seul coup d'aile plusieurs centimètres en hauteur. Ils commencent à perdre de la hauteur quand l'aile est presque relevée et retombent de 3 centimètres ce qui correspond à la chute qui doit exister pendant le temps où la susten-

tation n'est plus assurée. La figure 16 représente l'enregistrement d'un *Plusia gamma* en vol libre dans une cuve. On peut ainsi observer facilement le mouvement des ailes dans ces conditions.

Les papillons sont remarquables comme moyen d'étude des effets du coup d'aile parce qu'à force de battre quand ils sont enfermés dans une cuve ils abandonnent un duvet très léger qui se déplace au moindre mouvement d'air; dès qu'ils donnent un battement, on voit immédiatement ce duvet se déplacer sous l'effet du coup d'aile et prendre un mouvement circulaire autour de l'animal, le courant étant tout d'abord dirigé vers l'arrière, puis vers l'avant. On peut ainsi étudier les remous autour des ailes. Quand un individu se maintient au point fixe en battant des ailes, contre les parois de la cuve, à quelques centimètres du plancher de celle-ci, on constate une violente chasse d'air vers le bas; à la fin de l'abaissement, le duvet qui repose sur le plancher est projeté avec violence dans tous les sens; le même fait se renouvelle quand les ailes se referment au-dessus du corps. Au contraire, quand celles-ci se séparent l'une de l'autre, le duvet qui flotte dans la cuve au-dessus de la tête du Papillon est attiré par l'effet de vide, si bien qu'il semble qu'il y a une véritable circulation d'air au-dessus du corps de l'animal. Nous avons déjà essayé de cinématographier ce phénomène sans avoir pu y parvenir.

Le même phénomène a lieu avec des grosses Mouches et les Bourdons enfermés dans une cuve avec du duvet ou des fragments d'ailes de Papillons. Quand la mouche se déplace en bourdonnant dans le bocal, la tête en haut, on remarque que les parties d'ailes placées sur le fond, sont violemment chassés par le courant d'air dirigé vers le bas.

*Coléoptères.* — Les Coléoptères sont pourvus eux aussi de 2 paires d'ailes, une paire rigide et cornée, les élytres, une autre paire membraneuse, qui représente l'aile vraiment sustentatrice.

Les divers mouvements des ailes de ces insectes sont nettement visibles sur le film que nous donnons (fig. 17) et qui montre les battements d'un hanneton vu de face; on aperçoit ses élytres qui constituent un dièdre de 30° au début; cet angle pendant l'abaissement de l'aile membraneuse s'accroît jusqu'à atteindre 90°. Ici encore, schéma du battement des ailes sustentatrices reste le même que pour les précédentes espèces; l'aile membraneuse

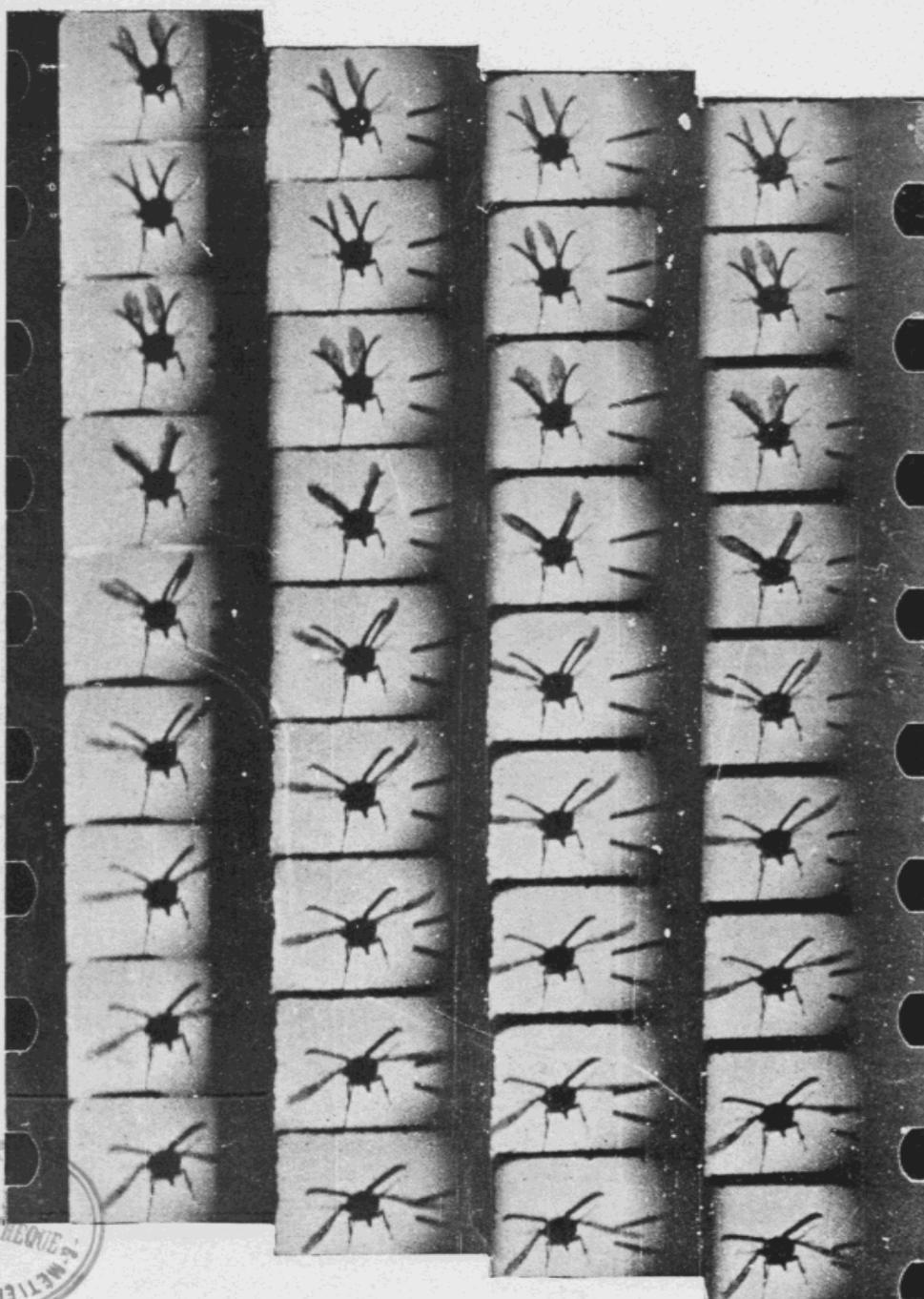


Fig. 17. — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.)  
et du battement des ailes d'un Hanneton (*Melolontha vulgaris* Fabr.).  
(3.356 vues par seconde)



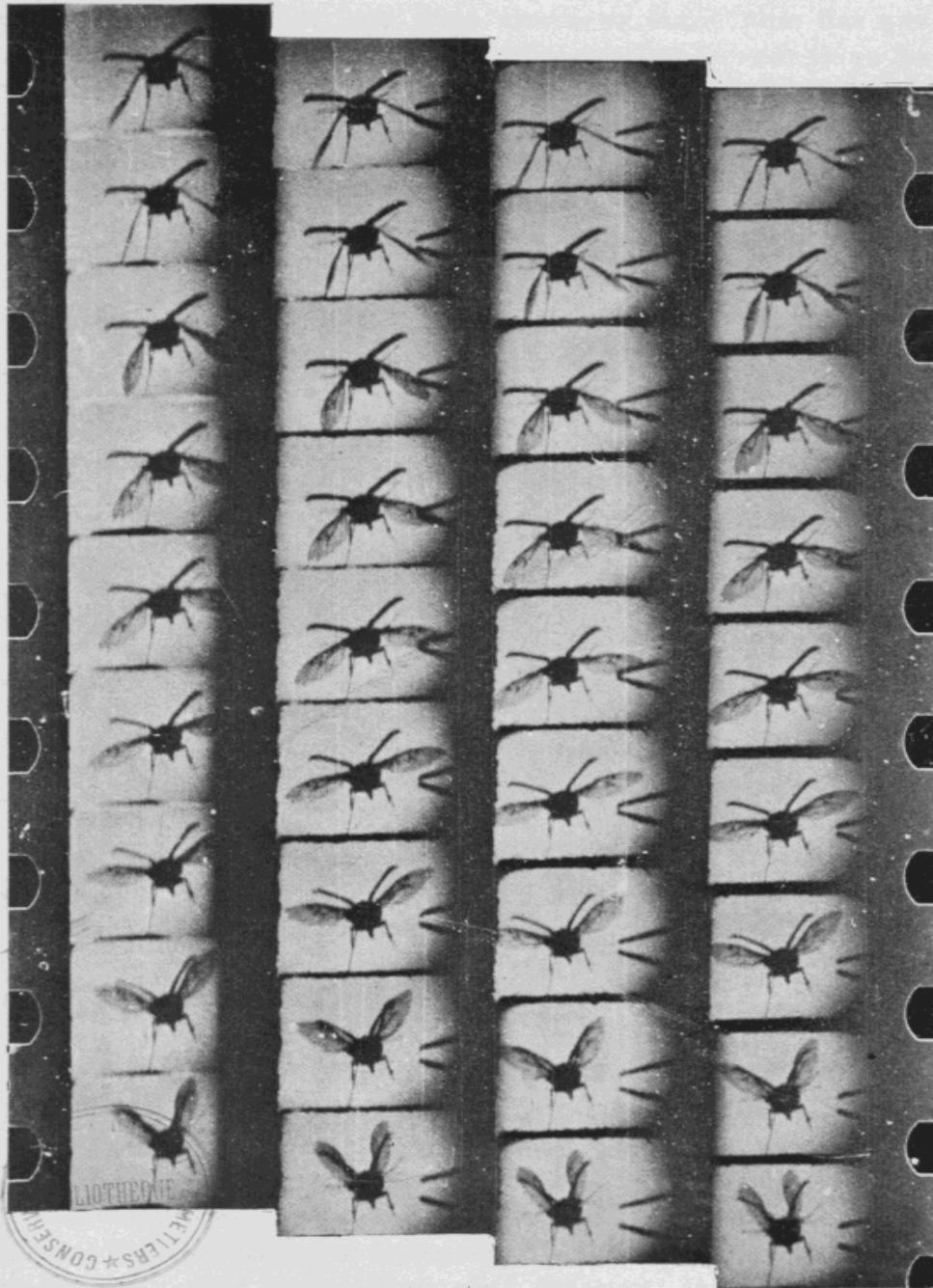


Fig. 17 (suite). — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'un Hanneton (*Melolontha vulgaris* Fabr.).

(3.356 vues par seconde)



s'abaisse presque à plat, son bord antérieur étant plus bas que le postérieur et formant un plan incliné de 10 à 15° sur l'axe du corps. Puis il y a retournement brusque, à 90° et l'aile se relève presque verticalement avec un nouveau retournement à 90°, quand les bords antérieurs sont presque verticaux et voisins l'un de l'autre. Ici, la pointe des ailes semble aller plus bas, en-dessous

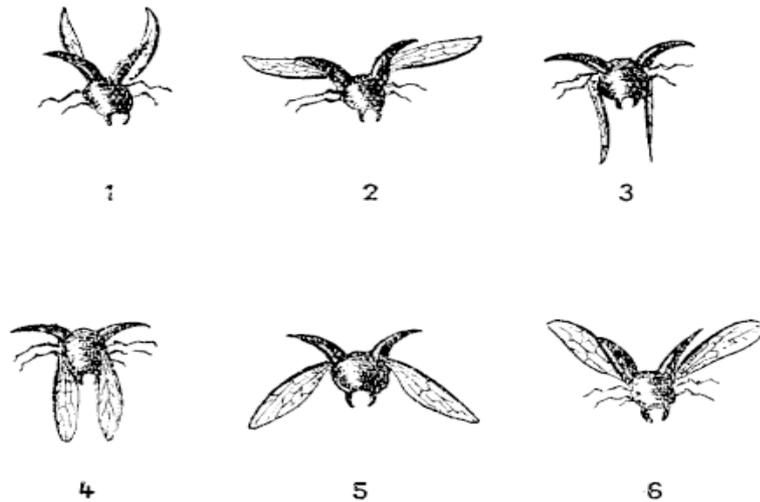


Fig. 18. — Attitudes diverses des ailes d'un Lucane (*Lucanus cervus L.*) vu de face pendant un battement.

du corps, que chez les Diptères. Dans le cas des Lucanes, par exemple, les pointes des ailes se touchent presque à la fin de l'abaissement alors que les faces inférieures de celles-ci se regardent (fig. 18). Le mouvement ressemble beaucoup à celui qu'on constate chez les oiseaux.

*Névroptères.* — Chez les Névroptères, qui possèdent réellement 2 paires d'ailes distinctes, le schéma du battement n'est plus exactement le même que précédemment. Dans le cas du Calopteryx splendens, comme l'ont montré nos cinématographies de l'animal vu de face et de profil, les deux paires d'ailes sont ramenées vers l'arrière du corps, au repos et à la fin de chaque battement, puis les deux ailes postérieures sont projetées les premières en avant et un peu vers le bas, leur face antérieure tournée vers l'avant (fig. 19), les deux antérieures suivant avec un certain retard. A la fin de cette sorte d'abaissement, les 2 ailes forment une croix en

avant de la tête, puis elles sont ramenées rapidement en arrière, les postérieures d'abord.

Dans le cas des grandes Libellules, telles que *Brachytron pratense*

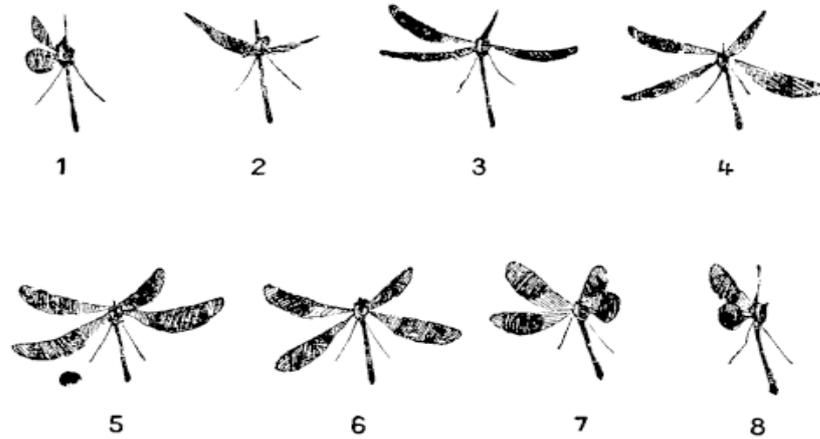


Fig. 19. — Attitudes diverses des ailes d'une Libellule (*Calopteryx splendens* Harr.) vue de face, pendant un battement.

(fig. 20 et 21), ce sont les ailes postérieures qui se mettent en mouvement les premières. Elles s'abaissent en portant peu à peu leurs

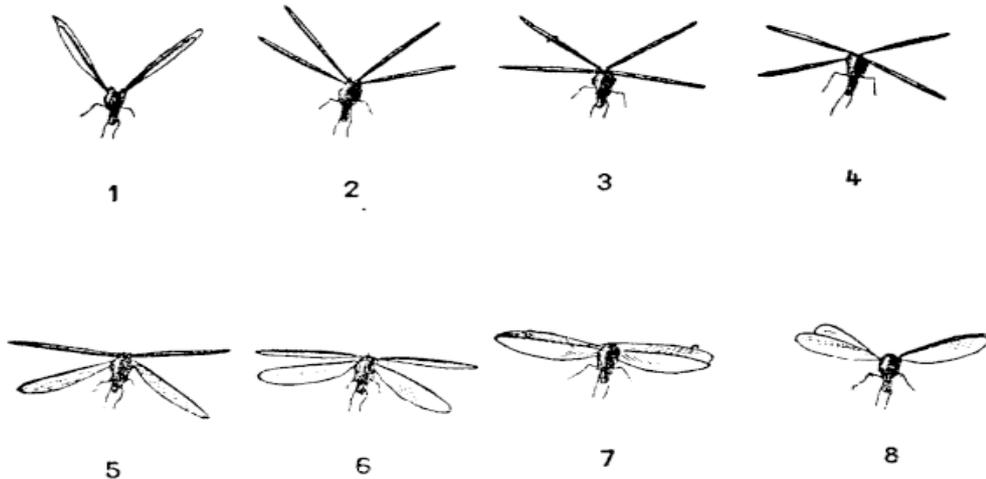


Fig. 21. — Attitudes diverses des ailes d'une Libellule (*Brachytron pratense* Müll.) vue de face, pendant un battement.

pointes vers l'avant et vers le bas, avant que les ailes antérieures aient commencé à bouger, puis les antérieures descendent à leur

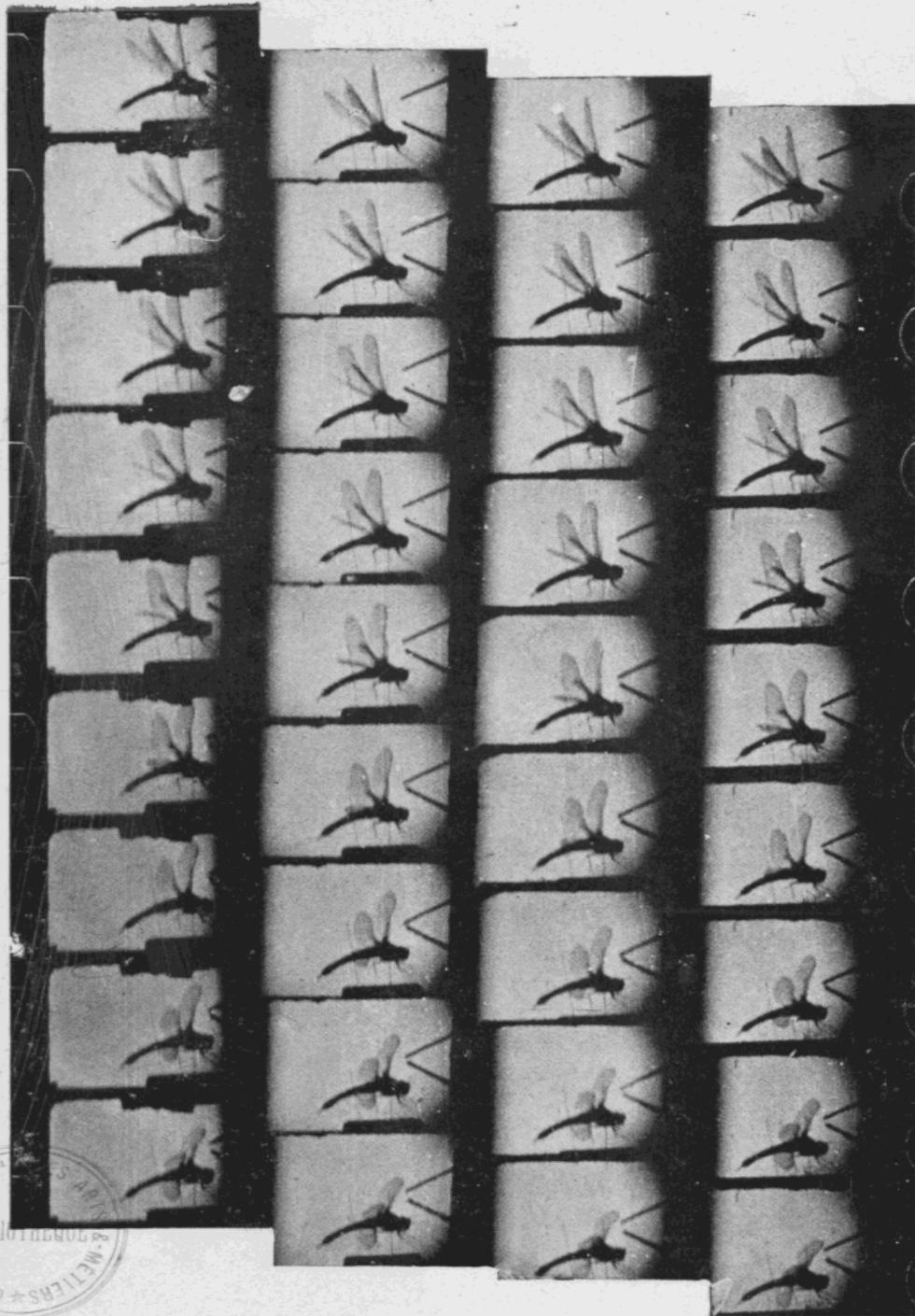


Fig. 20. — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'une Libellule (*Brachytron pratense* Müll.).

(2.496 vues par seconde)



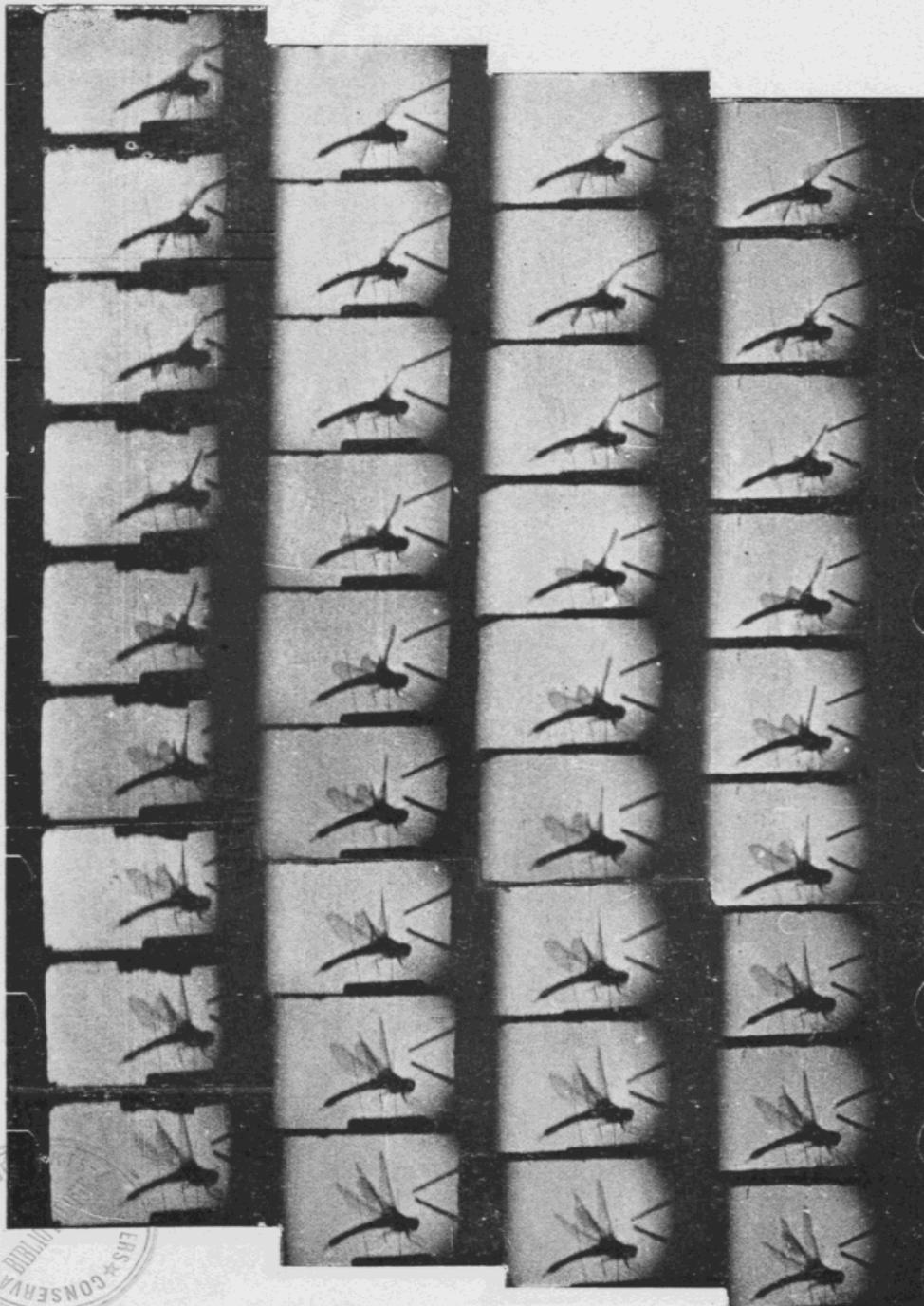


Fig. 20 (suite). — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'une Libellule (*Brachytron pratense* Müll.).

(2.496 vues par seconde)





Fig. 20 (suite). — Enregistrement du mouvement vibratoire d'un diapason (48 vib./sec.) et du battement des ailes d'une Libellule (*Brachytron pratense* Müll.).

(2,496 vues par seconde)



tour, quand les postérieures se trouvent complètement dans le prolongement l'une de l'autre ; celles-ci présentent ensuite un retournement à 90°, tandis que les antérieures sont encore à plat ; elles remontent et viennent se placer derrière ces dernières qui offrent le même retournement à 90°, puis les deux paires sont rapidement ramenées vers le haut ensemble.

L'intérêt de l'étude de ces grosses Libellules est qu'elles battent fort bien des ailes au point fixe et cela pendant des laps de temps assez prolongés. J'ai pu observer que, pendant ces battements répétés, il se produit un violent courant d'air dirigé vers l'arrière et sur les côtés de l'animal. Si l'on approche une flamme de l'abdomen d'une telle Libellule, on constate que la flamme est rejetée vers l'arrière ou sur le côté d'autant plus violemment que la distance est plus courte. Si l'on remplace la flamme par des fils de soie très légers, placés verticalement, on constate que ces fils sont soulevés et deviennent plus ou moins horizontaux. Nous avons encore cherché à cinématographier le phénomène avec l'appareil ultrarapide. Nous publierons les résultats quand les documents auront été dépouillés et étudiés.

Les Ephémères de leur côté ont des phases de battement qui rappellent celles de certains Lépidoptères Hétérocères.

Par contre les Panorpes et des Fourmilions ont des formes de battement qui sont assez semblables à celles de certaines Libellules. Les deux paires d'ailes s'abaissent chez les premiers séparément avec un petit décalage et une amplitude assez considérable, les quatre pointes se rapprochant, chez les Panorpes, fortement l'une de l'autre sous le corps et au-dessus de celui-ci.

#### RÉSULTATS DE QUELQUES MESURES EFFECTUÉES SUR LES FILMS

Tous les films enregistrés ont été tirés sur papier par agrandissement. Il a été ainsi possible de faire des mesures et de préciser certains points qui n'avaient pas été éclaircis en ce qui concerne en particulier la fréquence et l'amplitude des battements chez les insectes.

Comme sur chaque vue étaient enregistrés en même temps l'animal et un diapason, il a été facile de déterminer exactement le nombre de battements fournis par un individu par seconde et de mesurer l'angle maximum fait par les positions extrêmes

	Poids en mgr.	Longueur L de l'aile en mm.	Rapport de la longueur à la largeur de l'aile	Nombre n de battements par seconde	Produit L x n	Amplitude de battement	Rapport du temps de l'abaissement au temps de la relevée
<b>Diptères</b>							
a) <i>Musciens et Syrphiens</i> :							
Volucella plumata, Meig. ....	124	13	2,6	120	1,5	85°	1,5
Volucella pellucens, Meig. ....	73,5	12	2,6	93	1,1	75°	1,25
Sarcophaga carnaria, L. ....	45	7,5	2,1	160	1,2	100°	1,5
Chrysotoxum vernale, Lw. ....	23,5	10,5	3	150	1,5	92°	1,75
Chrysotoxum bicinctum, L. ....	75,5	12,8	3,3	110	1,4	100°	1,4
Chrysotoxum arcuatum, Meig. ....	73	12	3	140	1,6	90°	1,5
Musca domestica, L. ....	12	5,5	2,3	160	0,9	90°	1,75
Calliphora vomitoria, L. ....	90	10	2,5	110	1	85°	1,5
b) <i>Tabaniens</i> :							
Tabanus bovinus, L. ....	276	17,5	2,8	96	1,6	90°	1,5
Dasyrhaphis ultra R. ....	233	15,7	2,8	85	1,2	85°	1,25
c) <i>Tipuliens</i> :							
Tipula gigantea, Sch. ....	69	23,6	4	48	1,1	70°	1,5
Trichocera fuscata, Meig. ....	2,25	7	3,5	100	0,7	120°	1,2
<b>Hyménoptères</b>							
a) <i>Bombü</i> :							
Bombus lapidarius, Fabr. ....	495	16,5	2,6	90	1,4	90°	1,1
Bombus muscorum, L. ....	226	12,5	3,4	128	1,3	75°	1,2
b) <i>Vespidi</i> :							
Vespa germanica, Fabr. ....	187	14	3,1	96	1,3	90°	1,3
Vespa crabo, L. ....	567	22,5	2,8	53	1,2	50°	1,8
c) <i>Allantus tenuis Scop.</i>							
	52	12	3	70	0,8	110°	1,1
<b>Lépidoptères</b>							
I. RHOPALOCÈRES.							
Rhodocera rhamni, L. ....	107	27	0,7	21	0,56	140°	1,5
Vanessa cardui, L. ....	173	26,5	1	21	0,55	150°	1,3
Ctenonympha pamphilus, L. ....	46,5	16	0,7	22	0,35	140°	1,4
Argynnis pandora, S. V. ....	278	32	0,8	10	0,32	150°	1,4
II. HÉTÉROCÈRES.							
a) <i>Sphinges</i> :							
Zygena filipendula, L. ....	127	18	1,6	48	0,86	75°	1,2
b) <i>Bombycés</i> :							
Dasychira pudibunda, L. ....	237	27,5	1,5	28	0,77	75°	1,4
Philosamia cynthia, Dr. ....	760	62,5	0,8	8	0,50	130°	1
Bombyx rubi, L. ....	595	31	1,1	18	0,56	130°	1
Notodonta dictaea, L. ....	201	23	1,7	22	0,50	90°	1,3
Chelonia villica, L. ....	165	21	1	20	0,42	120°	1
c) <i>Noctuae</i> :							
Triphaena pronuba, L. ....	485,5	30	1,0	24	0,72	80°	1,4
Plusia gamma, L. ....	144,5	18	1,3	48	0,86	120°	1,1
Agrotis exclamationis, L. ....	133	14,5	1,3	41	0,59	135°	1,1
d) <i>Phalénides</i> :							
Venilia macularia, L. ....	21,1	16	1,1	25	0,40	90°	1,1
<b>Coléoptères</b>							
Melolontha vulgaris, Fabr. ....	961	28	3,1	46	1,2	130°	1,5
Telephorus fuscus, L. ....	109,3	12,5	2,5	72	0,9	145°	1,4
Lucanus cervus, L. ....	2600,	36	2,5	33	1,2	160°	1
<b>Névroptères</b>							
a) <i>Libellules</i> :							
Pyrrhosoma minium Harr. ....	38	25	5,5	27	0,67	100°	2
		23	4,6				
Calopteryx splendens Harr. ....	120	30	3,3	16	0,48	115°	1,6
		29	3,5				
Libellula depressa, L. ....	245	38,5	4,5	20	0,77	90°	1,4
		37	3				
Libellula 4 maculata, L. ....	307	34,5	4,3	21	0,72	90°	1,2
		33,5	3,1				
Ophiogomphus serpentinus, Charp. ....	312,5	33,5	4,5	42	1,4	90°	1,2
		31,5	3,1				
Brachytron pratense, Müll. ....	567	36,5	4,5	33	1,2	75°	1,4
		35	3,6				
Aeschna rufescens, Vand. ....	611,5	43	4	20	0,86	70°	1,4
		43	3,0				
Aeschna cyanea, Latr. ....	1207,	50	4,3	22	1,0	70°	1,4
		50	3,2				
Cordulia aenea, L. ....	201	33,5	4,2	33	1,1	110°	1,4
		32	3,3				
		20	2,3				
b) <i>Ephemera vulgata</i> , L. ....							
	93,5	7,5	—	29	0,58	110°	1,2
c) <i>Panorpa communis</i> , L. ....							
	30,7	14,5	4,1	28	0,40	150°	1,6
		13,5	3,8				
d) <i>Myrmeleon formicarius</i> , L. ....							
	90,5	33	4,4	20	0,66	140°	1,4
		33	5				

pendant une abaisée d'une aile projetées sur le plan vertical perpendiculaire au plan de symétrie en même temps que la durée de l'abaisée par rapport à celle de la relevée. Nous avons pu alors dresser le tableau suivant, dans lequel nous donnons pour chaque espèce étudiée le poids à la fin du vol, la longueur de l'aile depuis son insertion jusqu'à sa pointe, l'allongement c'est-à-dire le rapport de cette longueur à la largeur maxima, celle-ci représentant chez les Hyménoptères la largeur des 2 ailes réunies, telle qu'elle existe quand il y a battement.

Pour les Coléoptères, l'aile examinée est l'aile membraneuse.

En ce qui concerne les Lépidoptères, l'aile a été inscrite dans un rectangle dont deux des côtés sont parallèles à l'axe du corps et les deux autres perpendiculaires à cet axe. Les premiers représentent ce que j'appelle la longueur de l'aile, les seconds la largeur des 2 ailes réunies pendant le vol.

Pour les Névroptères les longueurs de chacune des 2 ailes sont données dans le tableau, car celles-ci sont toujours séparées en vol.

Enfin, une colonne renferme le produit de la longueur de l'aile par le nombre de battement.

Les divers chiffres obtenus sont donnés dans le tableau contenu dans les pages 16 et 17.

De ce tableau, il résulte que ce sont les Diptères et les Hyménoptères qui donnent le plus grand nombre de coups d'ailes par seconde, avec un nombre maximum de 160 pour les Mouches examinées.

Le nombre le plus faible est fourni par les Lépidoptères du genre *Philosamia* (8). Dans l'ensemble, d'ailleurs, ce sont ces insectes qui produisent le moins de battement par seconde, sauf cependant dans le cas des Sphinges et de certaines Noctuelles qui offrent une fréquence plus grande. Les Névroptères qui ont 2 ailes séparées ne battent pas beaucoup plus vite que les Papillons en général.

Si l'on examine maintenant le produit de la longueur de l'aile par le nombre de battements qui représente un temps, on constate que pour des individus de taille très différente, mais de même famille ou de même genre de vol, par exemple pour ceux ayant une aile à allongement supérieur à 1, ce produit est un nombre sensiblement constant dans l'ensemble et voisin de 1,4. Tel

est le cas pour les Diptères, Hyménoptères et Coléoptères. Ce nombre est plus petit, mais encore assez constant chez les Lépidoptères.

De ceci il résulte que la vitesse de l'extrémité de l'aile dans chaque groupe paraît être sensiblement la même quelle que soit la taille.

Pour ce qui est de l'amplitude du battement, on remarque que cette amplitude est la plus faible chez les Diptères et les Hyménoptères, où elle se montre souvent inférieure à  $90^\circ$ , les 2 ailes à la fin de l'abaissement formant entre elles un angle de  $160^\circ$ ; l'amplitude est plus importante chez les Coléoptères, l'angle des 2 ailes à la fin de l'abaissement atteignant souvent  $30^\circ$ ; elle est considérable fréquemment chez les Lépidoptères Rhopalocères où elle est quelquefois de  $150^\circ$ , l'angle des 2 ailes sous le corps étant alors de  $50^\circ$ . Chez les Libellules, l'amplitude donnée est celle des ailes postérieures, celle des ailes antérieures étant souvent plus faible.

Enfin, on remarque que la durée de l'abaissement est toujours plus grande que celle de la relevée.

A. MAGNAN











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. DUNOYER. La cellule photo-électrique et ses applications.	
V. G. RIBAUD. Le rayonnement des corps incandescents.	
VI. L <sup>ie</sup> -Colonel JULLIEN. 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 vapeurs.	
IX. R. MESNY. Les ondes dirigées et leurs applications.	
Un volume in-8 <sup>o</sup> de 270 pages.....	35 fr.

**Série 1930 :**

X. G. RIBAUD. Température des flammes.....	5 fr.
XI. J. CABANNES. Anisotropie des molécules. Effet Raman.....	8 fr.
XII. P. FLEURY. 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 photo-électrique 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 auto-entretenus et les oscillations de relaxation.....	8 fr.
XXVIII. F. BEDEAU. Le quartz piézo-électrique, ses applications à la T. S. F.....	5 fr.
XXIX. E. DARMOIS. L'hydrogène est un mélange : Ortho et para-hydrogène.....	5 fr.
XXX. R. AUDUBERT. Les piles sensibles à l'action de la lumière.....	8 fr.

**Série 1932 :**

XXXI. L. DE BROGLIE. Relations d'incertitude.....	6 fr.
XXXII. IRÈNE CURIE et F. JOLIOT. L'existence du neutron.....	6 fr.
XXXIII. JEAN-LOUIS DESTOUCHES. État actuel de la théorie du neutron.	18 fr.
XXXV. A. MAGNAN. Premiers essais de cinématographie ultra-rapide.	15 fr.
XXXVI. A. SAINTE-LAGUE. Probabilités et morphologie.....	6 fr.
XXXVII. N. MARINESCO. Influence des facteurs électriques sur la végétation	7 fr.
XXXVIII. ANDRÉ GEORGE. Mécanique quantique et causalité.....	6 fr.

IMPRIMERIE B. BUSSIÈRE. — SAINT-AMAND (CHER). 6-10-1932