

Le vol des insectes (2)

Par Étienne-Jules Marey

Second article¹ d'Étienne-Jules Marey, le « pionnier de la biomécanique », consacré à l'étude du vol des insectes. Il y met à profit un enregistreur photographique de son invention.

1. Le premier a été publié dans le précédent *Insectes*, n°166, pp. 31-32.

Le vol des insectes étudié par la chronophotographie

La Nature, n° 974 - 30 janvier 1892

Le chronophotographe, dont on a vu la description dans ce journal¹, se prête à l'analyse de toutes sortes de mouvements : nos lecteurs connaissent déjà ces séries d'images par lesquelles la photographie instantanée retrace toutes les allures de l'homme et des animaux. La marche, la course, le saut, les différentes sortes d'escrimes ont été ainsi étudiées ; le vol des oiseaux a été analysé aussi par cette méthode, et chaque battement d'aile décomposé en ses phases successives.

Nous avons essayé d'étudier de la même façon le vol des insectes, mais ce problème présentait des difficultés particulières. En effet, plus l'objet dont la photographie doit saisir l'image se meut avec rapidité, plus le temps de pose doit être court. C'est ainsi que l'aile d'un Pigeon qui vole ne peut être nettement représentée que si l'on réduit la pose à 1/1 000 ou même 1/2 000 de seconde ; mais le Pigeon ne donne pas plus de huit

coups d'ailes par seconde, tandis que les insectes en donnent un bien plus grand nombre : la Guêpe, 110 ; le Bourdon, 240 ; la Mouche commune, 550. Pour saisir nettement l'image de ces organes en vibration, il faudrait abrégier le temps de pose en raison même de la rapidité de leur mouvement, c'est-à-dire que les poses devraient être réduites 1/20 000, 1/50 000, 1/40 000 de seconde, en chiffres ronds.

La difficulté n'était pas d'obtenir ces courtes durées d'éclairage avec l'obturateur rotatif du chronophotographe ; il suffisait pour cela de réduire à des fentes extrêmement étroites les ouvertures dont la coïncidence produit l'admission de la lumière. Mais avec une si courte impression lumineuse il était bien à craindre que, malgré la sensibilité des plaques, et malgré la puissance des agents révélateurs, aucune image ne se formât.

Pour avoir des chances de succès, il fallait recourir à un très puissant éclairage et racheter par son extrême

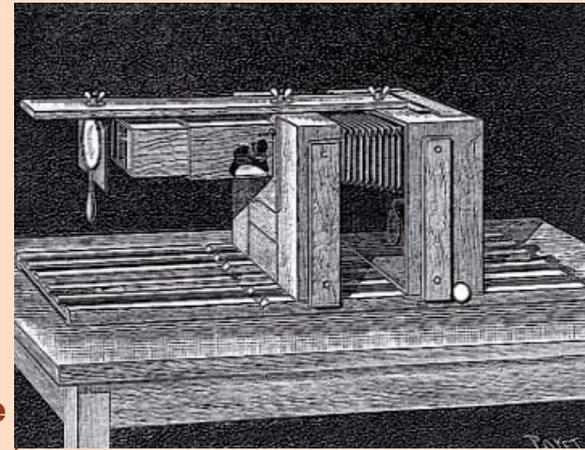


Figure 2. Appareil chronophotographique disposé pour étudier le vol naturel d'un insecte

intensité l'extrême brièveté de l'impression lumineuse. Or, comme la lumière solaire est la plus intense que l'on connaisse, nous avons disposé l'expérience de telle sorte qu'un insecte au vol se détachât en silhouette sur le disque même du soleil.

La figure 1 représente les conditions essentielles de l'expérience ; nous allons en suivre les détails en commençant par la droite.

Un faisceau de rayons solaires, réfléchis par le miroir d'un héliostat, tombe sur la lentille C qui les concentre à l'intérieur de l'objectif photographique, sur les disques de l'obturateur O. Quand les fenêtres de ces disques sont en coïncidence, le faisceau lumineux condensé les traverse ; puis s'épanouissant de nouveau, s'étale sur la plaque sensible S. Or, derrière la lentille C, un insecte est tenu par une patte au moyen d'une pince ; l'image de cet insecte se peint sur la plaque sensible, sous forme d'une silhouette où les plus fins détails des nervures des ailes sont parfaitement apparents.

Ce procédé, qui se prête à l'observation du *vol captif*, présente certains avantages ; il permet d'orienter l'insecte de différentes manières, et d'observer ses ailes sous différents aspects. Toutefois, comme il donne naissance à des efforts exagérés de l'animal qui cherche à se dégager, il vaut mieux recourir à une autre méthode qui réalise les conditions du *vol naturel*.

1. *La Nature* n° 911, du 15 novembre 1890, p. 375.

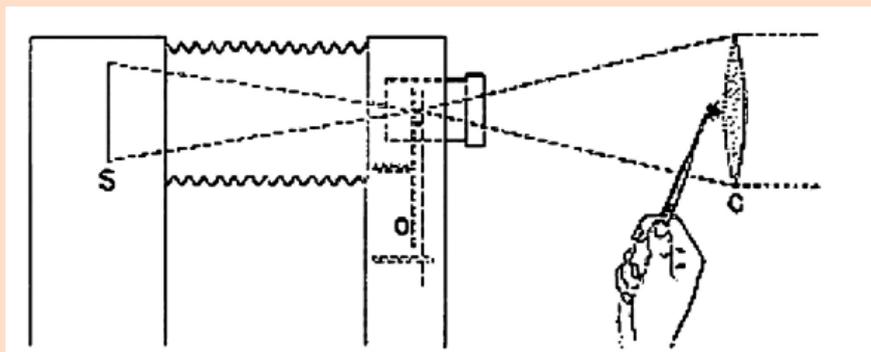


Figure 1. Disposition de l'appareil pour l'étude du vol d'un insecte

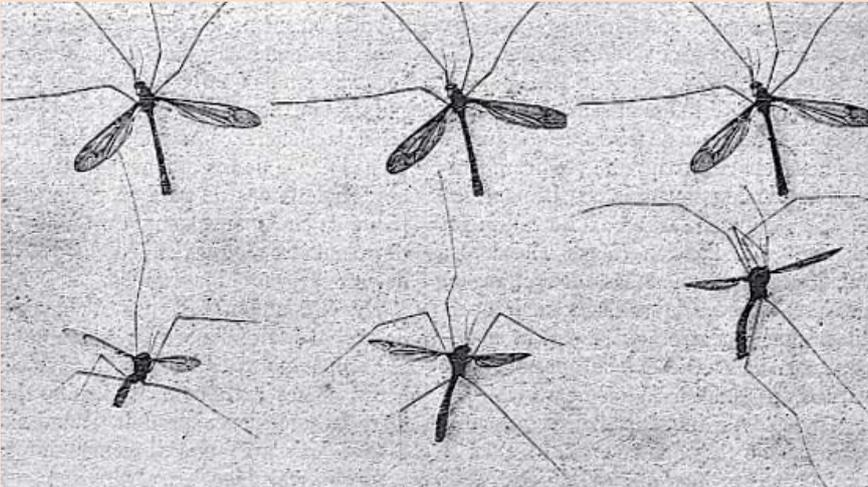


Figure 3, montrant deux Tipules, dont l'une est immobile et posée contre une vitre, pendant que l'autre vole au-dessous d'elle en agitant ses pattes de diverses manières et en donnant à son corps des inclinaisons variées (cette figure est un fragment d'une longue bande pelliculaire).

À cet effet, on place au devant de l'objectif photographique (fig. 2) une boîte fermée de deux tubes rectangulaires qui glissent l'une dans l'autre, suivant que la boîte doit s'allonger ou se raccourcir pour les besoins de la mise au point. Cette boîte est fermée en avant par une glace contre laquelle on place la lentille condensante qui concentrera les rayons de l'héliostat comme dans l'expérience ci-dessus (un *arrachement* pratiqué dans la paroi de la boîte laisse voir, à son intérieur, l'objectif photographique). En ce même endroit de la caisse se trouvait une ouverture par laquelle on introduit l'insecte en expérience. Un instinct naturel porte l'animal du côté de la lumière ; il vole donc contre la vitre qui a été préalablement mise au foyer de l'appareil. Quand on constate que le vol de l'insecte s'effectue bien contre la vitre, on presse la détente qui met en marche la pellicule sensible, et les images se forment aussitôt. C'est de cette manière qu'a été obtenue la figure 3 montrant deux *Tipules*, dont l'une est immobile et posée contre la vitre, tandis qu'au-dessous une seconde *Tipule* vole en agitant ses pattes de diverses manières, et en donnant à son corps des inclinaisons variées. Or, si l'on compare l'aspect de ces deux insectes, on voit que celui qui ne vole pas tient ses ailes dans un plan vertical, de sorte qu'on en

aperçoit l'extrémité arrondie et que toutes les nervures en sont visibles. Sur l'insecte qui vole, il semble au contraire que l'aile soit pointue, ce qui tient à ce que le bord postérieur en est soulevé, de sorte qu'il se présente obliquement ; la même raison empêche de voir distinctement les nervures. On aperçoit également que les ailes se meuvent dans un plan perpendiculaire à l'axe du corps, de sorte que, dans les mouvements du vol, elles ne se portent ni du côté de la tête, ni du côté de

l'abdomen. Le même fait s'observe aussi dans le vol de l'Abeille (fig. 4). Sur un insecte du genre *Cerceris*² (fig. 5), il semble qu'il en soit autrement, mais nous avons pu nous l'assurer que ce n'est qu'une apparence. Le corps, en effet, n'était point vertical ; l'insecte s'aidait de ses pattes pour se soulever, tout en battant des ailes ; et sa tête touchait la vitre, tandis que son abdomen en était fort éloigné. Dans cette attitude, les ailes, se portant en arrière, semblaient s'élever ; elles paraissent s'abaisser quand elles se portaient en avant.

Lorsqu'on tient l'insecte au bout d'une pince, on voit, en l'orientant convenablement, que le mouvement des ailes se passe, en grande partie, du côté dorsal, de sorte que les ailes se touchent presque à la fin de leur mouvement en arrière, tandis qu'elles forment entre elles un angle de plus de 100 degrés du côté ventral. Il faudra multiplier beaucoup ces expériences pour arriver à déterminer complètement les caractères du vol dans les différentes espèces ;

2. Hym. Crabronidé (NDLR).



Figure 4. Vol de l'Abeille



Figure 5. Vol de *Cerceris*

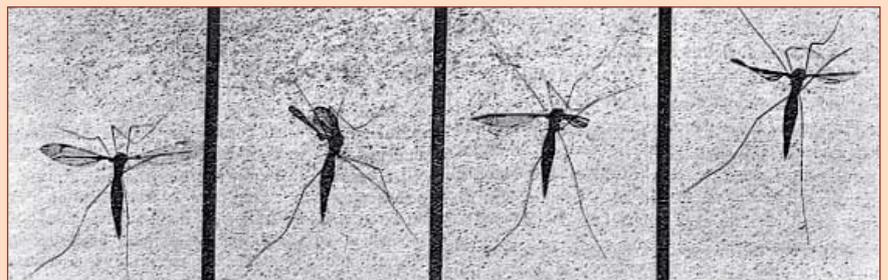


Figure 6. Tipules en vol présentant différentes attitudes des ailes

mais déjà ce que montre la chronophotographie confirme et complète ce que nous avaient appris d'autres méthodes, relativement au mécanisme du vol.

Dans un ouvrage antérieur, *La Machine animale*³, nous avons montré que l'aile de l'insecte fonctionne dans l'air comme une *godille dans l'eau*, c'est-à-dire qu'elle agit comme un plan incliné, à chaque phase de son mouvement de va-et-vient. Nous ajoutons alors que cette inclinaison du plan de l'aile est toute passive, qu'elle n'est pas l'effet de l'action de quelque muscle, mais qu'elle est produite par la résistance de l'air elle-même. À l'appui de cette théorie, nous montrions un insecte factice dont les ailes, simplement flexibles en arrière et rigides en avant, s'inclinaient par la résistance de l'air dans leur mouvement de va-et-vient et produisaient la propulsion de la machine.

La chronophotographie vient prouver que, sur l'insecte véritable, la résistance de l'air produit réellement des effets semblables, sans qu'on puisse attribuer ces changements d'inclinaison à quelque action musculaire. La fig. 6 donne, à cet égard, des renseignements instructifs. On y voit assemblées une série d'attitudes assez curieuses des ailes.

L'image 1 (en partant de la gauche) montre une autre espèce de Tipule avec ses ailes verticalement étalées, c'est-à-dire dans le plan de l'axe du corps. L'insecte volait à ce moment, mais ses ailes se trouvent représentées à l'instant où elles changent de direction et où, ayant fini la phase de leur oscillation qui va du dos au ventre, elles vont se porter du ventre au dos. À cet instant l'aile n'est sollicitée, ni d'un côté ni de l'autre, par la résistance de l'air, aussi, sa surface est-elle plane. Sur l'image 2, l'insecte a les ailes portées en arrière. L'image 3 correspond au milieu de la phase d'oscillation des ailes ; celles-ci, fortement inclinées

3. Marey, Étienne-Jules, *La Machine animale, locomotion terrestre et aérienne*. Paris : G. Baillière, 1873.(NDLR)

Étienne-Jules Marey
(1830-1904)

Sa carrière commence comme médecin à l'hôpital Cochin (à Paris). Il soutient sa thèse en 1859 sur la circulation du sang, puis se consacre à la recherche en physiologie, au Collège de France. Il invente le sphygmographe, appareil à enregistrer le pouls. À partir des travaux du photographe Muybridge (vers 1870), il développe des instruments originaux pour enregistrer, parfaitement situés dans le temps et dans l'espace, les mouvements de l'homme et

des animaux, dont un chronophotographe à pellicule mobile, breveté en 1890. « Ingénieur de la vie », comme il se dit, il interprète les données recueillies avec les connaissances physiques et physiologiques de son temps, pas toujours suffisantes. Auteur d'ouvrages importants (comme *La machine animale* (1872), *La méthode graphique dans les sciences expérimentales* (1878), *Étude de la locomotion animale par la chronophotographie* (1887), *Le vol des oiseaux* (1890) et *Le mouvement* (1894)), savant reconnu, il préside, à la fin de sa vie, à la fois l'Académie des Sciences et la Société française de photographie.

À parcourir : le dossier consacré à E.-J. Marey par la Bibliothèque interuniversitaire de Médecine et d'Odontologie, à <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medical/marey.htm> et l'exposition en ligne « Étienne-Jules Marey : le mouvement en lumière », à www.expo-marey.com/home.html

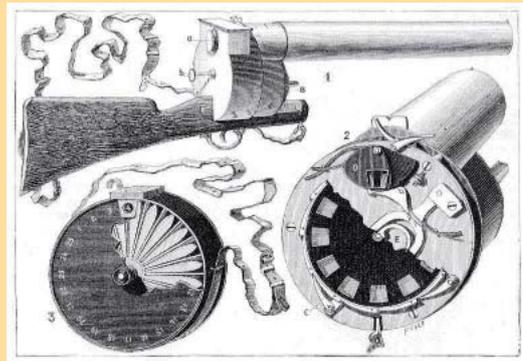


Fig. 2. Mécanisme du fusil photographique.

1. Vue d'ensemble de l'appareil. — 2. Vue de l'obturateur et du diaphragme à hélices. — 3. He/le contenant vingt-cinq plaques sensibles.

E.-J. Marey est l'inventeur du fusil photographique.

Gravure de Louis Poyet, in : *La Nature* n°464 du 22 avril 1882

par la résistance de l'air, semblent se terminer en pointe, apparence qui a déjà été signalée plus haut. Enfin sur l'image 4, l'aile gauche présente une véritable *torsion* par l'effet de laquelle le voile flexible est surtout relevé du côté de l'extrémité de l'aile, à l'endroit qui a la vitesse la plus grande. En ce point, on aperçoit la face inférieure de l'aile, tandis que, plus en dedans, on n'en voit que la tranche, et plus en dedans encore, la face supérieure. Sur l'aile droite, le même effet, moins visible, s'arrête au degré qui donne au bout de l'aile l'aspect d'une pointe. Cette dissymétrie apparente de l'action des deux ailes tient à l'orientation de l'animal.

Ajoutons que, dans ces photographies, on voit très bien la position des *balanciers*, ces petits organes formés d'une boule à l'extrémité d'un fil, qui chez les diptères correspondent à la seconde paire d'ailes avortée. Le rôle de ces organes, dont l'ablation abolit la fonction du vol, a été très controversé ; on voit sur nos figures qu'ils participent aux mouvements des ailes, et tout porte à croire qu'en étudiant un

grand nombre de diptères convenablement orientés, on arrivera à déterminer la vraie nature des mouvements des balanciers.

Ces quelques exemples montrent tout le parti qu'on peut tirer de la chronophotographie dans l'étude de mouvements qui, par leur rapidité extraordinaire, semblaient devoir toujours nous échapper. ■

Pour en savoir plus

Depuis ces articles, de nombreux travaux, exécutés avec des techniques inconnues du temps de Marey (comme la vidéo à très haute fréquence de prises de vue et la modélisation informatique) ont permis d'améliorer nos connaissances et de les présenter dans les éditions successives des ouvrages de Physiologie des insectes comme, le cas échéant, d'en monter les résultats en *Épingle* (cas de l'Abeille, par exemple, à www.inra.fr/opie-insectes/epingle05.htm#ial). Plus originale est l'approche aéronautique et on lira l'article en ligne de Jean Carpentier, dans le n°4 (avril 2006) de la *Lettre de l'Association aéronautique et astronautique de France*, à www.aaafasso.fr