

Le vol des insectes

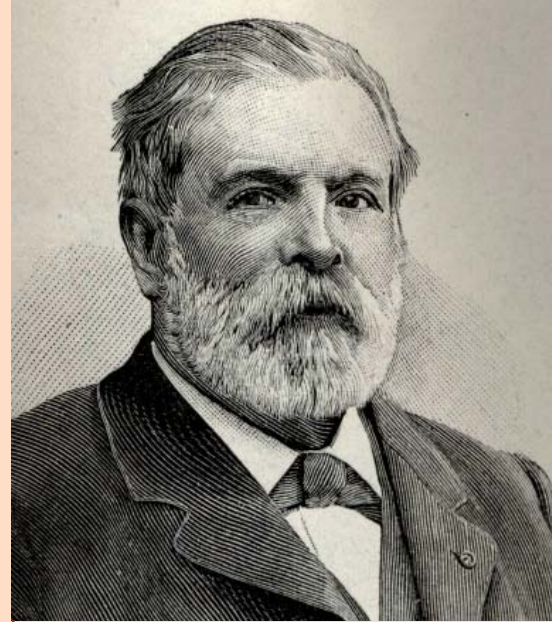
Par Étienne-Jules Marey

Pionnier de la biomécanique, Marey a cherché à analyser et à comprendre le vol des insectes. Avec un procédé graphique d'abord puis, un quart de (XIX^e) siècle plus tard, au moyen d'un enregistreur photographique de son invention. Voici le premier¹ de deux « vieux papiers », jalons de l'histoire de l'instrumentation scientifique et de l'entomologie.

1. Le second sera publié dans le prochain *Insectes*.

Physiologie. - Détermination expérimentale du mouvement des ailes des insectes pendant le vol

in *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 1868, T. LXVII, n° 26, pp. 1341-1345



Étienne-Jules Marey (1830-1904)

Il m'a semblé possible de soumettre à une expérimentation rigoureuse l'étude de ces mouvements que l'œil ne saurait suivre et dont la rapidité extrême ne permet pas de saisir la forme dans les conditions normales. Voici les questions que j'ai cherché à élucider :

A. Quelle est la fréquence des mouvements de l'aile ?

B. Quelles sont les positions différentes que prend l'aile dans les diverses phases de chacune de ses révolutions ?

C. Par quel mécanisme l'aile, prenant un point d'appui sur l'air, produit-elle la translation de l'insecte ?

■ A- *Fréquence des battements de l'aile.* Les physiologistes ont tenté de déterminer la fréquence des mouvements de l'aile d'après le son rendu par un insecte qui vole. Ils sont arrivés à admettre des chiffres très élevés : 600 vibrations par seconde pour la mouche commune (Lacordaire) ; encore ce nombre pourrait-il être triplé dans les cas de vol

très rapide. D'autres insectes donneraient un nombre de battements bien supérieur. Toutefois il règne parmi les naturalistes peu d'accord au sujet de la cause qui produit le son que l'on entend pendant le vol d'un insecte. Quelques auteurs pensent que ce son, indépendant du mouvement alaire, est produit par des appareils spéciaux de bourdonnement (Chabrier) ; il serait dû pour quelques-uns aux mouvements alternatifs de l'air qui s'échappe des trachées par les stigmates et qui y rentre tour à tour.

En présence de ces dissidences, j'ai cherché un moyen de signaler d'une manière irrécusable chacun des battements de l'aile d'un insecte ; la méthode graphique se prête très bien à la détermination de la fréquence de ces battements.

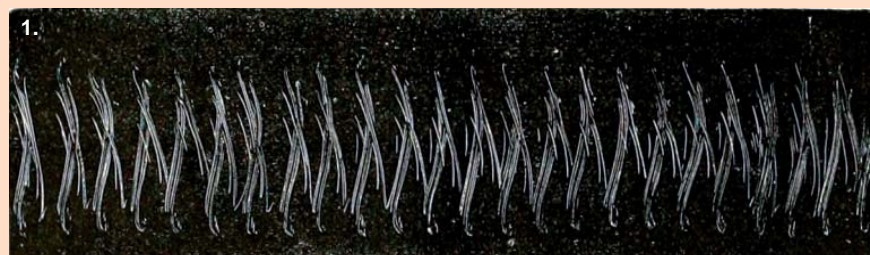
Je saisis avec une pince délicate la partie postérieure de l'abdomen d'un insecte, et pendant que celui-ci cherche à s'envoler, je dirige l'une de ses ailes de façon qu'elle frotte par sa pointe contre la surface d'un cylindre enfumé qui tourne avec une vitesse connue. L'aile, à

chacune de ses révolutions, enlève un peu du noir de fumée qui couvre le cylindre et laisse une trace de son passage. L'expérience fournit un graphique dans lequel on trouve des formes variées dont chacune se reproduit périodiquement avec les mêmes caractères et correspond par conséquent à une révolution de l'aile. Au moyen d'un diapason chronographe on peut déterminer avec précision le nombre exact des révolutions de l'aile qui s'opèrent en une seconde. Pour obtenir cette évaluation avec précision, je me sers d'un diapason qui donne nettement les graphiques de 500 vibrations simples par seconde.

La fig. 1 montre la fréquence des battements de l'aile d'un *Macroglossus* du caille-lait¹.

Un frottement étendu de l'aile sur le cylindre présente aux mouvements de cet organe une résistance qui en ralentit la fréquence. Aussi, pour avoir l'expression la plus voisine de la vérité, j'ai choisi les graphiques dans lesquels la tangence de l'aile avec le cylindre était au minimum, de telle sorte que le graphique était réduit à une série de points.

La fréquence des mouvements diminue aussi lorsqu'on charge l'aile d'une petite masse. Elle diminue également par la fatigue et l'action



1. *Macroglossus stellatarum*, Lép. Sphingidé, alias le Moro-sphinx (NDLR)

du froid. Tout se passe donc ici comme dans les autres mouvements rythmés que peut produire le système musculaire chez les différents animaux. Si l'on se place dans des conditions également favorables et qu'on cherche la fréquence de battements de l'aile que peuvent fournir différentes espèces d'insectes, on trouve à cet égard des écarts singuliers. Je n'ai pu observer qu'un petit nombre d'espèces à cause de la saison avancée. Voici les nombres que j'ai trouvés pour une seconde :

Chez	
la Mouche commune	330
le Bourdon	240
l'Abeille	190
la Guêpe	110
le Macroglosse du caille-lait ...	72
la Libellule	28
la Piéride du chou	9

Une étude plus complète faite sur un grand nombre d'espèces bien déterminées fournira sans doute des chiffres bien plus élevés comme maximum de fréquence. J'ajoute que le *vol captif* pendant lequel j'étudiais ces insectes doit donner une plus grande résistance aux battements de l'aile et en diminuer la fréquence. Mes chiffres doivent donc être inférieurs à ceux qu'on obtiendrait pendant le vol libre.

■ **B - Forme du mouvement de l'aile.**
La méthode graphique ne se prête pas très bien à la détermination du parcours de l'aile à chacune de ses révolutions ; en effet, les figures que décrit dans l'espace la pointe d'une aile d'insecte sont des figures gauches ; elles sont inscrites à la surface d'une sphère idéale qui aurait pour rayon la longueur même de l'aile, et pour centre le point d'implantation de cet organe au thorax de l'insecte. Une surface sphérique de cette nature ne saurait être tangente que par un point à la surface du cylindre enregistreur, et toute tangence plus complète risque de déformer plus ou moins le gra-

phique en produisant la courbure de l'aile de l'insecte. Pour obtenir la notion exacte du parcours de l'aile dans l'espace, j'ai recouru à une méthode que l'on peut appeler la *méthode optique de Wheatstone*. On sait que le célèbre physicien anglais terminait des verges vibrantes par une boule métallique brillante, dont l'éclat laissait sur la rétine une impression persistante des mouvements périodiques qu'elle exécutait. Or, puisque la méthode graphique m'avait déjà démontré la périodicité régulière des mouvements de l'aile des insectes, j'ai pensé qu'en armant d'un point lumineux l'extrémité de ces ailes, je pourrais obtenir une figure optique de lent mouvement périodique.

En effet, en fixant à l'aide de vernis une petite paillette d'or battu à l'extrémité d'une aile d'insecte, et en plaçant l'animal dans un rayon de soleil, j'obtins une figure lumineuse en forme de 8 en chiffre d'un vif éclat, qui m'indiquait les différents points de l'espace que l'aile dorée parcourt à chaque révolution.

La fig. 2 montre l'apparence que présente, pendant son vol, une Guêpe à laquelle j'avais doré la pointe des deux premières ailes.

Chez différentes espèces d'insectes, j'ai toujours retrouvé à peu près la même forme.

Reprenant alors la méthode graphique pour vérifier ce résultat, j'ai réussi à obtenir successivement des portions de graphiques dont les unes me donnaient la boucle

supérieure du 8, d'autres la boucle inférieure ; d'autres enfin le *point double* ou l'intersection des deux moitiés du 8, ainsi que cela se voit sur la fig. 1.

À titre de confirmation nouvelle, j'ai cherché à enregistrer le contact de l'aile avec le cylindre, non plus par sa pointe, mais par son bord antérieur. La théorie fait prévoir que, dans ces conditions, le 8 en chiffre doit disparaître, et qu'en sa place on doit obtenir un double contact de l'aile avec le cylindre. L'un de ces contacts a lieu au moment où se forme la boucle supérieure du 8, et au point où cette boucle présente sa convexité au cylindre. L'autre contact a lieu au moment où la boucle inférieure se forme dans les mêmes conditions. Dans une prochaine note, je démontrerai que ce mouvement complexe ne tient pas à une série périodique d'actes musculaires exécutés par l'insecte, actes dont les uns produiraient, dans le sens vertical, une oscillation simple, tandis que, dans le sens horizontal, d'autres muscles produiraient, dans le même temps, deux oscillations. En réalité, l'insecte n'exécute qu'un mouvement d'abaissement de l'aile auquel succède un mouvement d'élévation, et si, en conséquence de ces deux mouvements contraires, l'aile ne se borne pas à osciller dans un plan, cela tient à la résistance de l'air qui imprime à l'aile une déviation dans chacune des moitiés de son parcours. ■

