

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Marey, Etienne-Jules. - Histoire naturelle des corps organisés. Cours de M. Marey. II. Les mouvements de l'aile chez les insectes.**

*In : Revue des cours scientifiques de la France et de l'étranger, 1869, VI, n° 11, p. 171-176*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/hist/med/medica/cote?marey052>

ceux qui, dépendant de la proportion des parties, ont pour cela une influence modificatrice sur la forme, — peuvent être reconnus bien longtemps avant que les caractères de l'ordre aient acquis leur pleine expression. La Tortue qui happe, par exemple, montre son petit sternum en forme de croix, sa longue queue, ses habitudes féroces, même avant de sortir de l'œuf, avant de respirer par des poumons, avant que son derme se soit durci en une carapace osseuse, etc. ; bien plus, elle happe, la bouche béante, dès qu'on en approche quelque chose, même alors qu'elle est encore entourée de son amnios et de son allantoïde et que la masse du jaune est plus grosse que celle de son corps (1). Le Veau prend la forme bovine bien avant d'avoir acquis les caractères d'un Ruminant à cornes creuses ; le Faon présente toutes les particularités de son espèce avant que celles de sa famille soient développées.

Quant aux caractères du genre, on peut dire qu'il est très-rare qu'ils s'accroissent dans un type quelconque du règne animal, avant que les traits spécifiques soient pour la plupart entièrement dessinés, sinon complètement formés. Peut-il y avoir le moindre doute qu'un embryon humain appartient au genre Homme, même avant qu'une seule dent ait percé ? Est-ce qu'un petit Chat, un petit Chien ne sont pas reconnaissables comme Chat et comme Chien avant que les griffes et les dents indiquent leur genre ? Cela n'est-il pas vrai encore de l'Agneau, du Chevreau, du Poulain, du Lapereau, du Souriceau, de beaucoup d'Oiseaux, de Reptiles, de Poissons, d'Insectes, de Mollusques, de Rayonnés ? Et pourquoi ? Simple-ment parce que les proportions des parties, qui constituent les caractères spécifiques, sont reconnaissables avant l'achèvement des détails de la structure, qui caractérisent le genre.

Ces faits me paraissent de nature à avoir quelque influence sur les progrès à venir de la zoologie. Ils nous permettront désormais de démêler de plus en plus nettement les traits sur lesquels se fondent les différences et la subordination des groupes du règne animal. Cette analyse de leur ordre d'apparition contrôle, pour ainsi dire, mes précédentes assertions sur la valeur respective et les caractères saillants de ces divisions. L'épreuve est favorable, et cette circonstance ajoutera, je pense, à la probabilité de leur exactitude.

Mais cela a une autre portée très-considérable. Pour que l'embryologie puisse fournir les moyens de résoudre quelques-uns des difficiles problèmes de la zoologie, il est indispensable de bien déterminer d'abord ce que sont les caractères de l'embranchement, de la classe, de l'ordre, de la famille, du genre et de l'espèce. Or, si l'on suppose que ces caractères apparaissent nécessairement dans l'ordre de leur subordination, pendant le développement embryonnaire, il n'y a rien à apprendre à cet égard dans les monographies embryologiques. Il est bien rare que les embryologistes se préoccupent d'un point si utile à connaître pour le zoologiste. D'autre part, tant qu'on ignore ce qui constitue positivement les caractères des groupes qui viennent d'être nommés, il est impossible de découvrir les caractères d'un genre dont on ne connaît qu'une seule espèce, d'une famille ne possédant qu'un genre, etc. Par la même raison, on prétendrait vainement ar-

(1) Le prince Max von Neuwied cite comme un fait remarquable que le *Chelonura serpentina* mord aussitôt qu'il sort de l'œuf. Je l'ai vu mordre avec autant de férocité que le fait l'adulte, alors qu'il n'était encore qu'un embryon pâle et presque incolore, enroulé dans ses enveloppes fœtales, le jaune, plus volumineux que le corps, pendant sous le sternum, trois mois avant l'éclosion.

river à un résultat légitime, en ce qui concerne la limitation naturelle des genres, des familles, des ordres, etc. ; et, sans cela, pourtant, on ne doit pas même songer à entreprendre une classification permanente du règne animal. Encore moins pourrait-on espérer d'établir une base solide pour la comparaison générale des animaux actuellement vivants avec ceux qui ont peuplé la surface du globe, aux anciens âges géologiques.

Ce n'est pas le hasard qui m'a engagé dans cette étude, mais bien la nécessité. Chaque fois que j'ai voulu comparer, par groupes plus ou moins compréhensifs, les animaux de la présente période avec ceux des âges antérieurs, ou les premières phases du développement d'animaux supérieurs avec l'état adulte d'animaux inférieurs, j'ai constamment été arrêté dans ma marche par des doutes sur l'égalité valeur des mesures que j'employais. A la fin, j'ai fait de ces mesures elles-mêmes l'objet d'investigations immédiates et très-étendues, qui ont embrassé un champ beaucoup plus vaste qu'on ne le croirait en lisant ces observations. En effet, j'ai, pour la commodité de mes études, revu, d'après ces principes, presque tout le règne animal ; et j'ai introduit presque pour chaque classe des changements tout à fait inattendus dans la classification.

J'ai déjà exprimé (1) la conviction où je suis qu'il n'y a qu'un système vrai : celui de la nature ; et que, par conséquent, personne ne doit avoir l'ambition d'élever un système à soi. Je n'essayerai pas même de présenter ici ces résultats sous la forme d'un diagramme. Je me borne à exprimer la conviction que tout ce que nous pouvons véritablement faire de mieux, c'est de traduire, avec l'imperfection du langage humain, les pensées profondes, les relations sans nombre, la signification insondable du plan que manifestent et réalisent les objets naturels eux-mêmes. Et ma plus haute récompense serait de constater un jour que j'ai contribué à maintenir les observateurs dans la voie de la vérité.

L. AGASSIZ.

## COLLÈGE DE FRANCE

### HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS

COURS DE M. MAREY (2)

#### II

##### Les mouvements de l'aile chez les insectes

Pour arriver à une connaissance complète du mécanisme du vol chez les insectes, je vous ai dit que nous devrions, au préalable, résoudre un certain nombre de questions pratiques qui nous serviraient d'échelons pour nous élever à une conclusion définitive.

Je pourrais vous présenter immédiatement le résultat final des expériences auxquelles je me suis livré à ce sujet, et la théorie qui les résume ; au lieu de cela, je préfère procéder d'une autre manière. J'entrerai dans l'examen des faits, dans le détail de l'expérimentation, afin que chacun des auditeurs puisse participer plus complètement aux études que nous poursuivons ensemble, car je suis persuadé que pour cer-

(1) Voyez notre tome V, page 345, 2 mai 1868.

(2) Voyez ci-dessus, page 61, numéro du 26 décembre 1868.



tains d'entre vous, il y a autant de profit à savoir comment on arrive au résultat qu'à connaître ce résultat en lui-même.

I. — Nous avons commencé à étudier les mouvements de l'aile, et comme première question, la fréquence de ces mouvements. Sur ce point l'observation directe est d'un faible secours : la méthode acoustique qui consiste à apprécier la fréquence des battements par la tonalité du bourdonnement de l'insecte, serait plus parfaite ; mais, nous avons vu que le principe même de cette méthode avait été contesté par certains naturalistes, et que son application présentait des difficultés.

Reste la méthode graphique. Cette méthode consiste à faire écrire par l'aile même les battements qu'elle exécute.

Or, lorsqu'un insecte est retenu en captivité par une force qu'il n'a point l'espoir de vaincre, il arrive que l'animal cesse une résistance inutile : il se résigne et s'abstient de tout effort pour s'échapper ; ses ailes demeurent immobiles, et, de cette façon, l'espoir de l'observateur qui pensait étudier leurs battements se trouve déçu. Mais, il y a différents moyens de rendre à l'insecte son activité première : il suffit parfois de pincer légèrement les antennes ; cette excitation portée sur des organes extrêmement sensibles tire l'insecte de sa torpeur : ce procédé réussit chez le macroglosse. Chez les guêpes, on atteint le but en titillant les pattes, ou bien en les prenant toutes à la fois, puis les lâchant brusquement, à l'exception d'une seule par laquelle on retient l'animal. Le captif se croit débarrassé de ses liens, il a l'illusion qu'on lui rend la liberté, et les efforts de vol qu'il fait pour en profiter et s'éloigner durent assez longtemps pour être observés, environ une trentaine de secondes.

Autre difficulté. L'insecte captif, quand il le voudrait, ne volerait pas encore comme l'insecte en liberté, car il ne rencontre pas autour de lui les mêmes conditions extérieures. Il éprouve une résistance beaucoup plus considérable, proportionnelle à la traction qu'il exerce sur le lien qui l'attache ; il est par rapport à l'insecte libre ce qu'est la barque obligée de tirer sur une amarre à la barque voguant en liberté, ce que le cheval qui traîne un fardeau est au cheval exempt d'entraves. Cette résistance modifie considérablement son allure, et elle nous oblige à distinguer dans le vol de l'insecte deux conditions différentes : le *vol libre*, le *vol captif*.

Ces réserves étaient indispensables à établir, pour apprécier à leur juste valeur les résultats auxquels nous conduiront aussi bien la méthode graphique que les autres méthodes que nous emploierons.

L'appareil sur lequel l'aile tracera ses mouvements est l'appareil enregistreur ordinaire. C'est un cylindre métallique recouvert d'un papier noirci par la fumée, auquel un mécanisme d'horlogerie imprime un mouvement de rotation uniforme. Imaginons qu'au lieu des battements de l'aile, on veuille tout simplement enregistrer les oscillations d'une verge vibrante. Celle-ci sera disposée devant l'appareil enregistreur et son extrémité munie d'un petit style qui touchera par sa pointe le papier noirci. A mesure que les différentes génératrices du cylindre mobile défilent successivement devant lui, ce petit style écrivant enlèvera le noir de fumée aux points qu'il touchera ; s'il est immobile, il laissera une longue trace blanche, rectiligne, sans sinuosités, ligne droite qui, enroulée sur le cylindre, constitue une circonférence. S'il est en mouvement, sa trajectoire sera une ligne courbe dont les sinuosités peindront toutes les circonstances

du mouvement, ses phases d'élévation, ses chutes, en un mot toutes ses péripéties ; par conséquent, les oscillations que la verge vibrante exécute dans l'espace seront fidèlement reproduites dans le dessin.

Veut-on connaître la fréquence de ces oscillations ? Il suffit de connaître la vitesse de rotation du cylindre. D'ordinaire on emploie un diapason dont le son résulte d'un nombre de vibrations connu d'avance, soit, pour fixer les idées, cent vibrations à la seconde. On le met en mouvement, et on lui fait écrire ses vibrations sur le cylindre enregistreur au-dessous de la ligne tracée par la verge vibrante. La comparaison des deux graphiques fait voir immédiatement à combien de va-et-vient du diapason, c'est-à-dire à combien de centièmes de seconde correspond une oscillation de la verge : on sait ainsi avec une exactitude parfaite combien ce corps vibrant exécute d'excursions dans un temps donné. Le problème de la fréquence est facilement résolu.

Il n'est pas aussi simple d'avoir le graphique de l'aile d'un insecte que d'obtenir celui d'une verge vibrante ; et cela pour plusieurs raisons.

Et d'abord il sera très-difficile de fixer à l'extrémité de l'aile un style écrivant ; quelque léger qu'il soit, la rapidité du mouvement auquel il est soumis suffira, dans la plupart des cas, à vaincre son adhérence et à le projeter au loin. Si enfin, après beaucoup de précautions, on est parvenu à le maintenir en place, il ne résultera pas moins de sa seule présence une cause permanente de perturbation dans le jeu de la membrane alaire. Sous l'influence de cette charge, on verra diminuer l'amplitude et la fréquence des battements de l'aile. Il est facile de s'en assurer directement. Prenons un macroglosse, et fixons-le de la manière que nous avons indiquée dans la précédente leçon, c'est-à-dire que nous l'immobiliserons entre deux lièges au moyen d'une épingle. En le regardant de face, on aperçoit les limites extrêmes du parcours des ailes en haut et en bas : ce que nous avons appelé les *points morts*. Si l'on vient à appliquer quelque substance sur la surface de l'aile, on verra, par l'effet de cette charge, l'amplitude du jeu de l'organe diminuer, les deux limites de l'oscillation se rapprocher l'une de l'autre, et la position supérieure extrême, qui tout à l'heure était presque verticale, s'incliner en se rapprochant de l'horizontale.

Remarquons enfin que c'est seulement au prix d'un frottement considérable contre la surface du cylindre tournant que nous obtiendrons un dessin complet du mouvement de l'aile. Son extrémité libre ne saurait conserver un contact également intime et modéré avec la surface enregistreuse. En effet, cette extrémité assujettie à rester à une distance constante du point d'implantation de l'aile, ne peut toucher le cylindre que pendant un instant très-court de son évolution : c'est l'instant où la longueur de l'aile atteint précisément la distance du corps de l'animal à la surface cylindrique. La figure sphérique que l'extrémité alaire décrit dans l'espace ne pouvant avoir plus d'un point commun avec le cylindre noirci, on n'obtiendrait pour tout dessin qu'une série de points plus ou moins régulièrement espacés, et, si l'on veut obtenir un contact plus prolongé, ce ne sera qu'en courbant l'aile, en l'écrasant sur elle-même, et par suite on aura falsifié et altéré la courbe naturelle que l'organisation de l'insecte lui impose de parcourir.

En tout cas, le frottement contre la surface noircie sera beaucoup augmenté, et si la force retardatrice qu'engendre



Le frottement est complètement négligeable lorsqu'elle s'attaque à des corps de grande masse, comme le diapason ou la verge vibrante, elle ne l'est plus lorsque le corps vibrant est cette fine et délicate membrane qui constitue l'aile d'un insecte. Alors cette force, tout à l'heure infiniment petite, se trouve entièrement comparable à celles qui entrent en jeu dans le mouvement de l'aile, et son intervention altère notablement l'action de ces dernières. L'expérience a confirmé ces vues. Un insecte exécutant les mouvements du vol en frottant assez fortement son aile sur le papier a fourni 240 mouvements par seconde; en diminuant de plus en plus les contacts de l'aile avec le cylindre, on a obtenu des nombres de plus en plus grands: 282, 305 et 321.

Il faudra donc, si l'on veut un graphique fidèle, renoncer à obtenir ces belles lignes régulières et continues que fournissent les diapasons ou les verges qui vibrent; il faudra se contenter de lignes interrompues, entrecoupées, se présentant par fragments, ou même n'offrant que des points isolés; le retour périodique de certaines formes dans ces dessins

ont permis de déterminer la fréquence des battements chez certaines espèces d'insectes.

J'ai trouvé :

Mouche commune.....	330
Bourdon.....	240
Abeille.....	190
Guêpe.....	110
Macroglosse du caille-lait.....	72
Libellule.....	28
Papillon (piéride du chou).....	9

Certains auteurs ont apprécié par la méthode acoustique ces nombres de vibrations, mais il y a un écart notable entre les chiffres ci-dessus et ceux qui ont été déduits de la tonalité du son produit dans le vol des insectes. Pour le cas de la mouche commune, Th. Lacordaire évalue à 600 par seconde le nombre de ses vibrations alaires, c'est-à-dire qu'il admet un chiffre double du nôtre. N'y aurait-il pas là un malentendu comme il s'en est produit fréquemment sur le mot « vibration » ? Quelques personnes considèrent, à tort, comme



FIG. 2. — Montrant la fréquence des battements de l'aile chez un bourdon (les trois lignes supérieures) et chez une abeille (la ligne ponctuée inférieure). — La ligne quatrième est produite par les vibrations d'un diapason muni d'un style qui exécute 250 vibrations doubles par seconde.



FIG. 3. — Graphique produit par l'aile d'un bourdon frottant un peu plus fortement sur le papier que dans l'expérience précédente.

incomplets permettra de conclure au retour d'oscillations dentiques, et par conséquent d'en établir la fréquence.

Voici comment on opère :

On prend avec une pince délicate l'insecte dont on veut étudier les mouvements alaires au point de vue de la fréquence, et, saisissant l'animal par la portion inférieure de l'abdomen, on le place de telle sorte que l'une des ailes, à chacun de ses mouvements, vienne légèrement froter contre le papier noirci. Chacun de ces contacts enlève le noir de fumée qui recouvrait le papier, et comme le cylindre tourne, des points nouveaux se présentent sans cesse au contact de l'aile de l'insecte. On obtient ainsi une figure formée d'une série de points ou de courtes hachures d'une régularité parfaite, si l'insecte a été maintenu dans une position bien fixe (fig 2 et 3).

Nous avons obtenu un grand nombre de ces graphiques où l'aile n'a fait qu'effleurer la surface du cylindre enregistreur et a laissé seulement un point comme trace de chacune de ses vibrations. J'en fais passer un certain nombre sous vos yeux; je compte, du reste, dès que le retour de la belle saison nous permettra de nous procurer quelques insectes, vous rendre témoins des expériences par lesquelles on a obtenu ces dessins. Ceux que vous examinez en ce moment

deux vibrations l'allée et le retour de la membrane vibrante, et elles réservent le nom de vibrations simples à l'un ou à l'autre de ces mouvements isolés: on doit au contraire, si l'on veut se conformer à l'usage le plus généralement établi, considérer comme une seule vibration l'ensemble de ces deux oscillations après lesquelles le corps se trouve ramené à son point de départ.

Les observations que nous avons faites plus haut sur le vol libre et le vol captif restreignent un peu la généralité qu'on serait tenté d'accorder à ces nombres. L'animal, suivant qu'il veut avoir une rapidité plus ou moins grande, peut changer à son gré, non-seulement l'amplitude de ses battements d'aile, mais encore, dans une certaine mesure, leur fréquence. La fatigue peut exercer une influence analogue à celle de la volonté: après des mouvements très-rapides, l'animal s'épuise, il ralentit ses battements dont le nombre tombe quelquefois au quart ou au cinquième de sa valeur normale. Il continue à les espacer de plus en plus, jusqu'à ce qu'une période de repos et de réparation lui ait permis de reprendre son allure primitive.

Néanmoins l'examen de ces nombres peut suggérer quelques considérations générales. On a des raisons de penser que chacune des contractions musculaires qui déterminent le



mouvement d'abaissement de l'aile est le résultat d'une secousse unique (*Zuckung* des Allemands), tandis que, chez l'homme, la contraction est due à la fusion de secousses successives qui disparaissent les unes dans les autres lorsqu'il s'en produit plus d'une trentaine par seconde. Chez les insectes la limite à laquelle arrive la fusion est infiniment plus reculée; cependant la fusion finit par se produire, et l'aile se trouve immobilisée dans une sorte de contraction tétanique permanente. Il est facile de s'en assurer au moyen d'insectes vivants, ou mieux au moyen de l'insecte artificiel que j'ai construit. Lorsque les impulsions deviennent trop rapides, leur amplitude diminue; à ce moment, elles ne servent plus à la progression de l'animal, dont les ailes semblent planer immobiles ou à peine agitées d'un léger frémissement.

Néanmoins le nombre déjà très-considérable d'ondes musculaires que la fibre de l'insecte peut admettre sans les fusionner, nombre qui, chez la mouche, dépasse 300 à la seconde, constitue un fait physiologique très-intéressant à noter. Chez aucun autre animal la limite n'est aussi reculée: chez l'oiseau, la fusion se produit après 75 secousses; chez les mammifères, après 30, et chez les reptiles, après 4 seulement. Ces différences correspondent, en vertu de relations que je vous ai anciennement expliquées, à des différences analogues dans la vitesse avec laquelle l'onde élémentaire parcourt la

nisme du vol chez l'insecte, le synchronisme ne pouvait manquer d'exister. Cet auteur considère l'abaissement de l'aile comme le seul temps actif du battement; son redressement est un phénomène passif, dû à l'action de forces physiques. En effet, par suite de l'abaissement, chaque arceau dorsal du thorax se trouve infléchi comme un arc qu'on bande, et lorsque la contraction musculaire a cessé, l'arceau se détend en vertu de son élasticité et l'aile se relève. Or, si la pression n'agissait pas simultanément aux deux extrémités de l'arceau, il ne pourrait se fléchir comme il fait, et le mécanisme que nous supposons serait impossible. La réalité de ce synchronisme est donc une forte preuve en faveur de cette manière de concevoir le mouvement de l'aile.

Après avoir déterminé d'une façon générale la fréquence des vibrations de l'aile, on a cherché à connaître les variations produites dans le nombre de ces vibrations par les agents capables d'influencer l'activité de l'animal. Au premier rang il faut placer la chaleur et le froid. On sait qu'il faut un temps sec et chaud aux insectes, et surtout aux coléoptères, pour bien voler; l'observation directe a confirmé ce fait: elle a permis de constater que, dans certaines limites, la fréquence des battements augmentait avec la température et qu'elle s'abaissait lorsqu'il se produisait un refroidissement graduel.



FIG. 4. — Graphique simultané des mouvements des deux ailes d'un bourdon dans le petit vol. (On voit le synchronisme parfait du mouvement des deux ailes.)

fibre musculaire de ces divers animaux. La fibre musculaire de l'insecte sera donc caractérisée *physiologiquement* par la propriété qu'elle possède de fournir un nombre considérable d'ondes distinctes, de même qu'elle est caractérisée *anatomiquement* par sa grosseur et sa striation plus nette que chez les autres êtres vivants.

Le même procédé graphique qui nous a permis de juger de la fréquence des battements nous permettra encore de montrer le synchronisme parfait du jeu des ailes. Il faudra choisir un insecte dont les vibrations alaires soient très-amples, de façon que, dans leur mouvement d'élévation, elles viennent presque se rejoindre au-dessus de la région dorsale de l'animal. Si l'insecte est placé assez près du cylindre enregistreur, la région dorsale orientée vers la surface noircie, il est clair que dans le moment où les ailes se rapprocheront, elles viendront inscrire leurs traces sur le papier; elles détermineront ainsi une série de renflements et d'étranglements dont la correspondance parfaite prouvera le synchronisme des actions qui les engendrent (fig. 4).

Du reste, on peut se convaincre qu'il existe une sorte de solidarité nécessaire entre les mouvements des deux ailes. Si on lance violemment un insecte contre le sol, de manière qu'il soit étourdi par cette commotion violente et ne puisse plus exécuter de mouvements volontaires, on voit, en imprimant des mouvements à l'une des ailes, que celle de l'autre côté suit jusqu'à un certain point les mouvements imprimés à sa congénère; si l'on écarte une aile du corps de l'animal, l'autre s'écarte aussi; si on la porte en haut, l'autre s'élève. Certaines espèces, la guêpe, par exemple, m'ont paru se prêter très-bien à cette expérience.

D'après Chabrier, l'auteur d'un travail étendu sur le méca-

## II. — FORME DES MOUVEMENTS DE L'AILE.

Après avoir étudié la fréquence des vibrations de l'aile, il nous faut étudier leur *forme*. Pour le but que nous poursuivons, qui est de donner une théorie du vol des insectes, l'élément le plus important à connaître, c'est celui que nous abordons en ce moment: c'est la forme de la trajectoire que l'aile décrit dans l'espace plutôt que la rapidité avec laquelle cette trajectoire est décrite.

Pour arriver à cette détermination, nous aurons recours à deux procédés qui se contrôleront réciproquement:

Le procédé optique.

Le procédé graphique ordinaire.

*Détermination optique des mouvements de l'aile.* — Lorsqu'un corps brillant se déplace avec rapidité, il laisse dans notre rétine une sorte de traînée lumineuse qui nous fait connaître la trajectoire que ce corps a parcourue. C'est ainsi que les enfants s'amuse quelquefois à produire les dessins les plus variés en agitant rapidement dans l'air une baguette enflammée à l'une de ses extrémités. C'est sur ce principe qu'est fondé l'appareil connu en physique sous le nom de *verges de Wheatstone*. Ce sont des verges à vibrations complexes, qu'on a soin de terminer par des boules métalliques brillantes; si on les met en vibration, la partie brillante décrit dans l'espace des figures lumineuses variant avec les différentes combinaisons des mouvements vibratoires. Si l'on pouvait attacher à l'extrémité de l'aile une paillette brillante, cette paillette, parcourant sans cesse les mêmes points de l'espace, laisserait une figure lumineuse, continue, et exempte



de la déformation que peut donner le frottement contre la surface du cylindre.

On peut rendre brillante l'extrémité de l'aile d'un insecte sans le mutiler en aucune façon : il suffit d'y déposer une goutte de vernis sur laquelle on applique une portion de ces minces feuilles d'or qu'on se procure chez les batteurs. La dessiccation du vernis est assez rapide pour que l'insecte ne puisse pas décoller ce petit corps. On maintient l'animal immobile, et l'on n'a plus qu'à observer les jeux de lumière sur la petite surface brillante.

Dans ces conditions, l'abeille et la guêpe fournissent un huit de chiffre très-bien marqué (fig. 5).

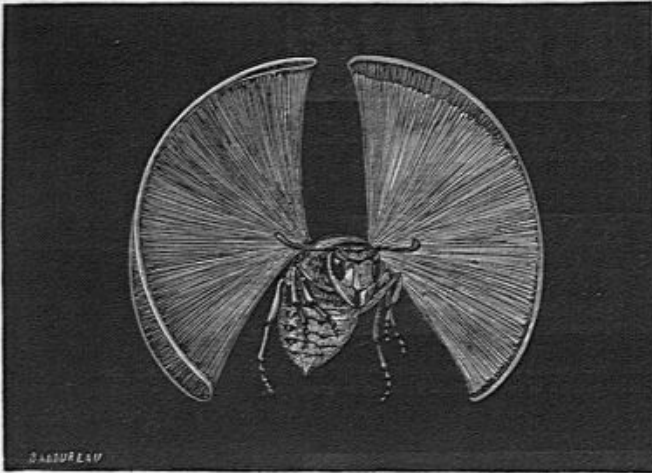


FIG. 5. — Aspect d'une guêpe à laquelle on a doré l'extrémité des deux grandes ailes. L'animal est supposé placé dans un rayon de soleil.

Les boucles du huit sont plus ou moins élargies ou comprimées suivant les cas : parfois même la pointe de l'aile semble se mouvoir presque dans un plan. Chez la libellule, on observe encore un huit de chiffre, mais beaucoup plus allongé : les boucles sont étroites, latéralement comprimées. Chez le macroglosse du *Galium*, il semble parfois que la forme précédente ait disparu et soit remplacée par une sorte d'ellipse. Cependant, en y regardant de près, on ne tarde pas à s'apercevoir que cette ellipse est surmontée d'une petite boucle très-peu développée relativement à la courbe qui la supporte : il semble que l'une des boucles se soit agrandie aux dépens de l'autre ; mais celle-ci n'a point entièrement disparu, et le vestige qui en reste témoigne de la persistance de cette forme de huit de chiffre qu'on rencontre dans la plupart des autres cas, et qui peut servir de type général.

*Changements de plan de l'aile.* — La figure lumineuse que donne dans ses mouvements l'aile dorée d'un insecte montre encore que, pendant les mouvements alternatifs du vol, le plan de l'aile change d'inclinaison par rapport à l'axe du corps de l'insecte. Pendant la période d'ascension, la face supérieure de l'aile regarde en arrière, tandis qu'elle regarde un peu en avant pendant la descente.

En effet, si l'on dore une grande étendue de la face supérieure de l'aile d'une guêpe, en ayant soin que la dorure soit bien limitée à cette face, on voit que l'animal, placé dans un rayon de soleil, donne la figure du huit avec une intensité très-irrégulière dans les deux moitiés de l'image, ainsi qu'on le

voit dans la figure précédente. — Il est évident que la cause de ce phénomène réside dans un changement de plan de l'aile, changement par suite duquel l'incidence des rayons solaires favorable pour leur réflexion pendant la période d'ascension, est défavorable pendant la descente. Si l'on retourne l'animal de façon à observer en sens inverse la figure lumineuse, le huit de chiffre présente en sens inverse l'inégal éclat de ses deux moitiés, prend de l'éclat dans la portion qui tout à l'heure n'en avait pas, et perd celui qu'il avait dans l'autre portion.

Nous trouverons plus loin, dans l'emploi de la méthode graphique, de nouvelles preuves de ces changements du plan de l'aile des insectes pendant le vol. Ce changement de plan est d'une grande importance, car c'est en lui que réside, comme nous le verrons, la cause prochaine de la force motrice qui déplace le corps de l'animal.

*Méthode des contacts.* — L'extrémité de l'aile décrite, en réalité, cette double boucle que nous apercevons, ou bien cette forme ne serait-elle autre chose qu'une illusion d'optique, un simple jeu de lumière ? Quelque peu probable que soit une pareille objection, il faut la réfuter. Pour m'assurer encore mieux de la réalité des déplacements de l'aile que la méthode optique rend perceptibles, j'ai introduit l'extrémité d'un petit poinçon dans l'intérieur des boucles du huit de chiffre, et j'ai constaté que, dans l'intérieur de ces courbes, il existe réellement des espaces libres, en forme d'entonnoir, dans lesquels le poinçon pénètre sans rencontrer l'aile ; tandis que, si l'on veut franchir l'intersection où les lignes se croisent, l'aile vient aussitôt battre contre le poinçon, et le vol est interrompu.

On peut apporter encore une plus grande précision dans l'appréciation de ces mouvements, et, sachant que l'aile décrit une double boucle, on peut savoir encore dans quel sens elle en parcourt les branches. Il suffit d'approcher de l'aile en mouvement une feuille de papier noircie des deux côtés : l'aile, en poursuivant sa course, vient frapper contre une des faces du papier, et la trace qu'elle y laisse témoigne du sens dans lequel s'accomplissait le mouvement.

*Méthode graphique.* — La méthode graphique n'est applicable à notre problème qu'avec de fortes modifications. Nous venons de voir qu'il est difficile de recueillir des graphiques de quelque étendue, parce que l'aile ne peut rester pendant longtemps en contact avec le cylindre noir, dont elle s'éloigne et se rapproche successivement. Dans ces conditions spéciales, il faut recourir à un artifice, et puisqu'il est impossible d'obtenir d'un seul coup un tracé satisfaisant, on devra essayer de diviser la difficulté et de fragmenter l'opération en plusieurs périodes. Les expériences précédentes simplifieront beaucoup l'interprétation de ces graphiques incomplets, et nous pourrons, avec des éléments épars, reconstituer la figure que la méthode optique nous a indiquée.

J'ai considéré, dans l'excursion complète de l'aile d'un insecte, telle qu'elle est représentée dans la figure 5, trois zones distinctes dont j'ai recueilli séparément les graphiques : une zone inférieure correspondant à la portion inférieure du huit de chiffre ; une zone moyenne et une zone supérieure correspondant aux parties moyenne et supérieure de cette figure. Puis, rapprochant les dessins obtenus dans ces trois opérations successives et les accolant entre eux, j'ai pu reconstituer la courbe totale. En enregistrant les graphiques de la zone



moyenne, on obtient des figures assez semblables entre elles, présentant deux traits entrecroisés, comme le montre la figure 6.

La portion supérieure était en forme de boucle, ainsi que la portion qui correspond au parcours inférieur de l'aile. Et ces trois parties successivement obtenues donnent, si on les

une verge de Wheatstone accordée à l'octave, c'est-à-dire une verge qui fait deux allées et venues horizontales pour une oscillation verticale.

Il me semble suffisamment établi maintenant que, dans les grands mouvements du vol, l'aile des insectes décrit dans l'espace un huit de chiffre. De plus, la figure lumineuse que présente dans ses mouvements une aile dorée nous a montré

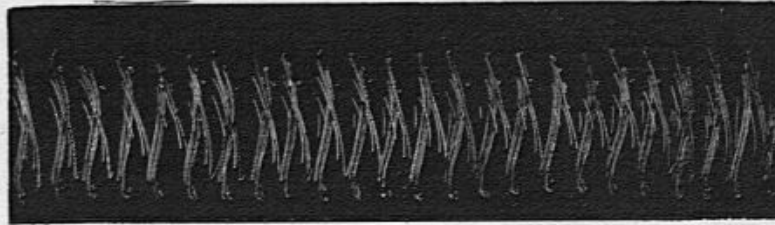


FIG. 6. — Graphique de la zone moyenne du parcours de l'aile d'un macroglosse du caille-lait. Les traits multiples dont ce graphique est formé tiennent à ce que l'extrémité de l'aile est frangée et présente des pointes multiples.



FIG. 7. — Graphique d'une verge de Wheatstone accordée à l'octave, c'est-à-dire vibrant deux fois transversalement pour chaque vibration longitudinale (figure empruntée à R. Kœnig). Le ralentissement du cylindre produit la condensation de la fin du graphique.



FIG. 8. — Cette figure montre, dans le graphique d'une guêpe, la boucle supérieure et toute l'étendue d'une des branches du huit. La partie moyenne de cette branche est seulement ponctuée à cause du faible frottement de l'aile.

réunit entre elles, la représentation complète d'un huit de chiffre tel qu'on l'obtient en acoustique en enregistrant à la manière de Kœnig les vibrations d'une verge de Wheatstone accordée à l'octave (fig. 7).

On peut encore varier l'expérience en recueillant, non plus le graphique de la pointe d'aile, mais celui du bord antérieur de cette membrane venant frapper latéralement contre le cylindre. Il est clair qu'en décrivant la boucle supérieure, ce bord se rapprochera du cylindre, puis s'en écartera; de même fera-t-il en décrivant la boucle inférieure, en sorte que, dans une excursion complète, il viendra frotter deux fois fortement contre la surface noircie, et il devra laisser deux traces blanches séparées par un intervalle. C'est ce qu'on observe (fig. 8).

Il est donc permis de conclure que si l'on pouvait recueillir tout entier, d'une seule fois, le tracé d'une aile d'insecte, on obtiendrait la même figure que nous avons vue dessinée dans l'espace par l'aile dorée de la guêpe, cette figure de huit que notre savant acousticien Kœnig a obtenue le premier avec

que les périodes d'ascension et de descente de l'aile s'accompagnent de changement du plan de cet organe. C'est ce fait qui nous permettra d'expliquer prochainement le mécanisme du vol de l'insecte.

#### Soirées scientifiques de la Sorbonne

Judi, 4 février, il n'y a pas eu de conférence. La leçon de M. Lisajous sur l'optique de l'atmosphère est reportée au jeudi 18 février, M. de Luynes ne faisant pas sa conférence sur l'impression des tissus. Enfin la conférence de M. d'Archiac sur les glaciers sera remplacée, le 25 février, par une conférence de M. Deslongchamps, professeur à la Faculté des sciences de Caen, sur les animaux vertébrés de l'époque jurassique.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.