

Le vol des insectes

MICHAEL DICKINSON

Le vol stationnaire des insectes résulte d'une combinaison d'effets aérodynamiques élucidés par un modèle utilisant les lois de la similitude.

En 1934, dans l'introduction de son ouvrage *Le vol des Insectes*, l'entomologiste Antoine Magnan écrit : « Tout d'abord poussé par ce qui se fait en aviation, j'ai appliqué aux insectes les lois de la résistance de l'air, et je suis arrivé avec mon assistant André Sainte-Lagüe à cette conclusion que leur vol est impossible. » Cette conclusion hâtive était sans doute fondée sur le fait que la portance maximale théorique des ailes d'un bourdon est plus faible que son poids.

La portance est la force qui s'exerce sur un corps perpendiculairement à la direction de son mouvement ou de l'écoulement où il est plongé. Cette portance est généralement calculée pour une aile d'avion : la forme incurvée de l'aile impose que la vitesse de l'écoulement de l'air sur sa partie supérieure soit plus grande que le long de la partie inférieure. Selon le principe découvert par Daniel Bernoulli au XVIII^e siècle, l'augmentation de la vitesse du fluide s'accompagne d'une diminution de la pression : la pression étant plus forte sous l'aile qu'au-dessus, la poussée s'exerce vers le haut, la portance (voir la figure 6).

Depuis 1934, les ingénieurs et les mathématiciens ont fait des progrès et ont acquis suffisamment de connaissances pour mettre au point les ailes d'avions nécessaires au transport de centaines de passagers, telles celles de l'Airbus A380. La conception de ces avions repose sur le principe de stationnarité selon lequel l'écoulement de l'air autour des ailes et les forces qui en résultent sont stables dans le temps.

Tel n'est pas le cas des insectes dont le vol est longtemps resté une énigme, car ces animaux battent et tournent leurs ailes 20 à 600 fois par seconde. Les forces aérodynamiques et les écoulements d'air changent sans cesse et compliquent les analyses, mathématiques et expérimentales.

Pour comprendre la physique du vol stationnaire d'une mouche, nous avons mis au point un dispositif expérimental (voir la figure 3). Dans une cuve de deux tonnes d'huile bat doucement une paire d'ailes de 60 centimètres d'envergure. Mues par six moteurs commandés par un ordinateur, les ailes brassent le fluide et y créent un mouvement que révèlent des millions de bulles d'air injectées dans la cuve. L'ensemble est éclairé par des rayons de lumière laser et filmé par des caméras vidéo, tandis que des capteurs enregistrent en permanence les forces qui s'exercent sur les ailes.

Grâce à l'insecte mécanique, qui imite les mouvements des ailes à une vitesse 1 000 fois inférieure et à une échelle 100 fois plus grande, nous avons compris comment la mouche utilise les tourbillons, le décrochage retardé, la circulation de l'air autour des ailes et la capture de sillage. Détaillons ces phénomènes qui donnent aux insectes une telle aisance dans leur vol.

Un bruissement d'ailes

Les ailes d'insectes en mouvement apparaissent le plus souvent comme une image brouillée : le vol des insectes ne ressemble donc en rien à celui des avions. Les ailes de l'insecte ne sont pas animées d'une simple oscillation verticale : l'extrémité de chaque aile trace une courbe ovale fortement inclinée. De plus, les ailes changent d'orientation à chaque battement : la face supérieure d'une aile est orientée vers le haut lorsque l'aile est abaissée, et vers le bas lors de sa remontée.

Les premières tentatives d'analyse du vol des insectes appliquaient à ces mouvements complexes les lois de l'aérodynamique stationnaire, lois habituellement utilisées en aéronautique. Ces approches étaient toutefois moins naïves que celle qui avait conduit aux

premiers calculs du vol du bourdon, car elles tenaient compte de la variation de la vitesse des ailes au cours du temps.

Imaginons que nous figions l'aile de l'insecte dans chacune des positions successives qu'elle prend pendant un battement, que nous reproduisions en soufflerie l'écoulement correspondant à chacune de ses positions et que nous mesurions la portance associée. Si la théorie stationnaire était correcte, la force moyenne calculée par addition des forces associées à toutes les positions serait dirigée vers le haut et égale au poids de l'insecte.

À la fin des années 1970, les aérodynamiciens doutaient de la pertinence de cette analyse et, au début des années 1980, à partir des données disponibles, le physicien américain Charles Ellington a conclu que l'approche stationnaire ne pouvait expliquer les forces mises en œuvre. Les mécanismes d'écoulement non stationnaires qui gouvernent les battements d'ailes restaient à découvrir.



Photographies de T. Archibald

1. DES ROBOTS capables de voler imiteront la nature : ils devront plus aux insectes et aux effets aérodynamiques que ceux-ci exploitent, qu'aux techniques aéronautiques utilisées dans la construction des avions.

