

Sa Majesté des mouches

Nicolas Franceschini

Mouvement et perception - UMR 6152
CNRS-Université de la Méditerranée, Marseille

L'œil d'un insecte est formé de nombreux petits yeux adjacents, les **ommatidies**, chacun coiffé d'une facette. Au fond de chaque ommatidie se trouvent des cellules photoréceptrices. On observe ici le contenu d'environ 40 ommatidies parmi les 3 000 de l'œil d'une mouche domestique vivante et intacte. Chaque point lumineux est un récepteur, analogue aux photorécepteurs de la rétine humaine. Comme eux, ils ont un diamètre infime (1 à 2 micromètres). Ils sont groupés par paquets de huit, dont sept sont visibles ici, à raison d'un paquet par ommatidie : six récepteurs périphériques, numérotés R1 à R6 (en rouge)

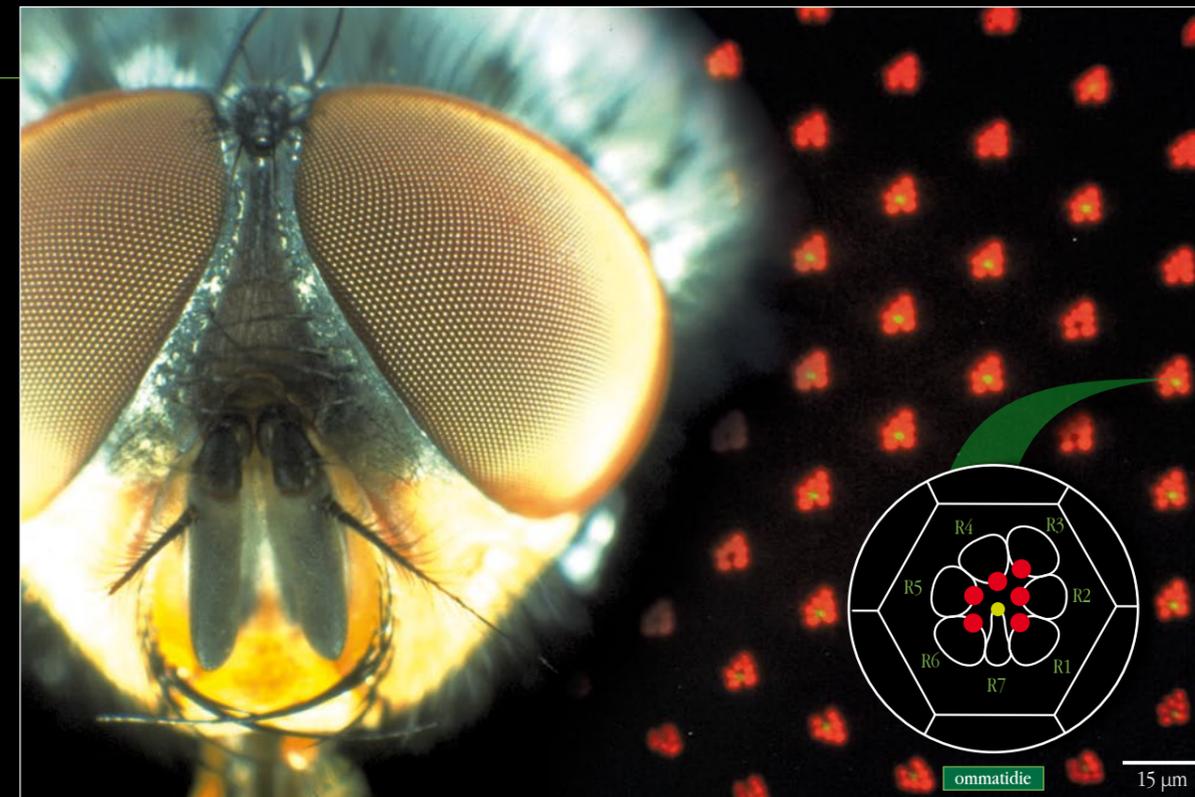


et un récepteur central R7 (vert, noir ou rouge) prolongé par le récepteur R8. Les couleurs observées sont des couleurs naturelles, dites d'*autofluorescence*.

Elles ont permis de démontrer que la vision des couleurs chez l'insecte repose sur des ommatidies qui n'ont pas toutes la même sensibilité spectrale.

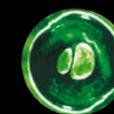
Pour obtenir cette image, une mouche collée à l'extrémité d'un cure-dent a été amenée sous le microscope, un œil orienté vers l'objectif. Pour mettre au point le microscope sur la rétine, il a fallu s'affranchir des facettes qui sont de véritables lentilles convergentes dont la présence est indésirable. Pour cela, on les *neutralise*

optiquement en déposant une simple goutte d'eau sur leur surface : on peut alors voir à travers chacune d'entre elles. Le microscope utilisé est à *épifluorescence* ; il a révélé que les cellules photoréceptrices sont fluorescentes *in vivo*. Elles émettent des lumières rouge ou verte, selon l'ommatidie, sous l'effet d'un éclairage bleu intense. Chaque cellule est un capteur photoélectrique plus sensible que le meilleur photomultiplicateur jamais construit par l'homme. Elle répond à l'éclairage par un signal électrique pouvant atteindre 60 millivolts, que l'on mesure en pénétrant dans son cytoplasme avec une microélectrode ultrafine (0,1 micromètre). En associant de tels enregistrements *intracellulaires* à la visualisation de la rétine *in vivo*, on a pu assigner à chaque récepteur une sensibilité spectrale donnée et établir une véritable division du travail au sein de la rétine de mouche : les deux cellules centrales (R7 et R8)



microscopie optique, microscopie à épifluorescence

neurosciences



— 30 - 214 - 216 —

participent à la vision des couleurs, tandis que les six cellules périphériques (R1 à R6) participent à la vision du mouvement.

La découverte de l'autofluorescence des photorécepteurs s'est produite alors que je m'obstinais à vouloir marquer les neurones en injectant dans la rétine des colorants fluorescents à des concentrations de plus en plus fortes. Des expériences de contrôle ont montré que les cellules étaient d'autant plus fluorescentes qu'on injectait moins de colorant. Une nuit passée au laboratoire m'a permis de comprendre que les colorants injectés ne faisaient qu'atténuer une émission naturelle insoupçonnée des pigments visuels, émission d'autant plus inattendue qu'elle n'existe pas chez les vertébrés (dont le pigment visuel se décolore sous l'effet de la lumière). La mouche est un *aéronef* agile transportant son mil-

lion de neurones dans les endroits les plus imprévus. Merveille de neuronique et d'optronique intégrées, cette créature autonome illustre des problèmes généraux de contrôle sensorimoteur propres aux animaux et aux véhicules intelligents de demain. En rendant la rétine de la mouche accessible *in vivo*, cette expérience a ouvert la voie à la microstimulation lumineuse de chaque cellule individuelle. Grâce à ces manipulations infaisables chez un vertébré, nous avons décrypté le fonctionnement des neurones détecteurs de mouvement qui se cachent derrière la mosaïque rétinienne. Il est apparu que ces neurones contrôlent la locomotion en mesurant la vitesse de défilement de l'image rétinienne, le *flux optique*. En transcrivant le schéma de fonctionnement de ces neurones en microcircuits électroniques, nous avons donné naissance à des robots, terrestres ou aériens, capables de s'orienter et d'éviter

les obstacles. De tels robots *neuromimétiques* ont le mérite d'éclairer, à leur tour, le fonctionnement des boucles sensorimotrices chez l'animal.

Pour en savoir plus

- « A bio-inspired flying robot sheds light on insect piloting abilities », N. Franceschini, F. Ruffier et J. Serres, *Current Biology*, 2007, 17, p. 329-335.
- « Reconstruire pour mieux comprendre : de la mouche au robot », N. Franceschini, *Cerveaux et machines*, Hermès, 1999, p. 247-268.
- « Early processing of colour and motion in a mosaic visual system », N. Franceschini, *Neuroscience Research*, 1985, supplément 2, p. 17-49.
- « Fluorescence of photoreceptor cells observed in vivo », N. Franceschini, K. Kirschfeld et B. Minke, *Science*, 1981, 213, p. 1264-1267.
- « Evidence for a sensitising pigment in fly photoreceptors », K. Kirschfeld, N. Franceschini et B. Minke, *Nature*, 1977, 269, p. 386-390.