amU
Aix Marseille Université

LIGNÉE TECHNIQUE OU L'ÉVOLUTION D'UN INSTRUMENT

#8 Les robots mobiles de la Biorobotique

Les biorobots synthétisent les mécanismes sous-jacents aux organismes vivants. En intégrant une perception de l'environnement à une morphologie actionnée, les biorobots sont aptes à résoudre des problèmes complexes, telles que la navigation autonome ou la poursuite de cible, avec une remarquable sobriété. Contrairement à l'ingénierie robotique qui applique des méthodes purement mathématiques, la biorobotique s'appuie sur l'ingéniosité des créatures biologiques. Elle transpose une boucle sensori-motrice animale dans un robot, créant ainsi un système autonome, et conjointement, elle tente de valider expérimentalement le modèle biologique dans des réalisations physiques.

Première rupture technique : le ROBOT-MOUCHE (11 kg), le premier biorobot autonome

Le Robot-mouche[1] s'inscrit dans l'héritage de la cybernétique, fondée par Norbert Wiener qui, dans un ouvrage célèbre en français « La Cybernétique[2] » (co-édité en 1948 par Hermann et MIT Press), forgeât le mot « cybernétique » (du grec kybernêtikê, art de gouverner/piloter) pour désigner la science des boucles de rétroaction et de la communication, communes aux êtres vivants et aux machines. Construit à la fin des années 1980, le Robot-mouche s'inspire du système visuel de la mouche domestique. Ce fut, dans le monde, la première réalisation physique d'un biorobot autonome. Son œil à facettes est panoramique dans le plan, avec 118 facettes focalisant la lumière sur 118 photorécepteurs. Ceux-ci alimentent un ensemble de détecteurs élémentaires de mouvements (DEM), qui mesurent le flux optique (vitesse de défilement de l'image rétinienne engendrée par la translation du robot). Le Robot-mouche se dirige à 50 cm/s vers une lampe-cible, tout en évitant les obstacles dans un environnement inconnu composé de poteaux verticaux. Contrastant avec l'informatique embarquée qui, au milieu des années 1980, était encore lente et gourmande en énergie, chaque neurone (DEM) est réalisé en électronique analogique et fonctionne en temps réel. Son câblage reproduit le traitement du signal réalisé par l'un des 3000 DEM de la mouche - analysé auparavant dans l'équipe grâce à une technique nouvelle impliquant un 'microscope-télescope' [3].



Figure 1 : Robot-mouche (1991) entièrement autonome équipé d'un 'œil composé' (visible à mi-hauteur) pour l'évitement d'obstacles et d'un 'détecteur de cible' (à la partie supérieure) recherchant la lampe-cible.
Crédit photo : Nicolas Franceschini (Photothèque CNRS).

[1] Nicolas FRANCESCHINI, Nicolas, Jean-Marc PICHON, and Christian BLANES, « From insect vision to robot vision ». Philosophical Transactions: Biological Sciences, 1992, p. 283-294.

[2] Norbert WIENER, « Cybernetics. or control and communication in the animal and the machine », The Technology Press; John Wiley & Sons, Inc., New York; Hermann et Cie, Paris; 1948, 194 pp.

[3] Alexa RIEHLE and Nicolas FRANCESCHINI, « Motion detection in flies: parametric control over ON-OFF pathways ». Experimental brain research, 54(2), 390-394, 1984.
Nicolas FRANCESCHINI, « Early processing of colour and motion in a mosaic visual system ». Neuroscience Research Supplements, 2, S17-S49, 1985.

Seconde rupture technique : trois biorobots basés sur un balayage rétinien (vision active) : SCANIA, OSCAR I, OSCAR II

Dans les années 1990–2000, l'équipe de Biorobotique du CNRS a découvert une voie alternative au dogme des images rétiniennes statiques à haute résolution spatiale[4]. Le principe s'inspire du « micro-balayage rétinien » découvert au Laboratoire chez la mouche[5].

SCANIA[6] (0,7 kg) est un robot cyclope terrestre construit en 1996. Sa rétine élémentaire est soumise à un micro-balayage rétinien comme celui de la mouche. En associant à ce micro-balayage la mesure du flux optique par ses DEM, SCANIA translate le flux optique dans la gamme de mesure des DEM. Il réussit alors à éviter les parois contrastées d'une arène, malgré la très faible résolution de son œil.

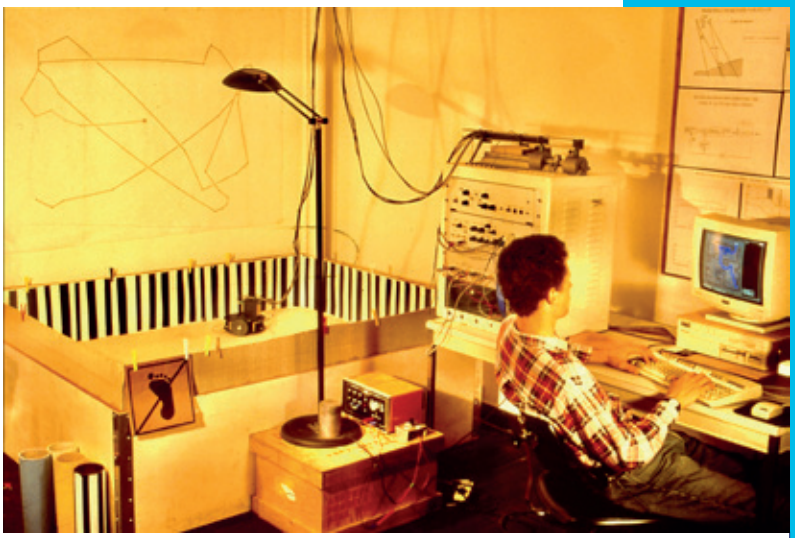


Figure 2 : Fabrizio Mura et le robot SCANIA (1996). Au mur est exposée une trajectoire sans collision (que le robot a tracée lui-même sur un papier couvrant le sol de l'arène). Le robot SCANIA (700 g) est équipé d'une rétine de 12 photodétecteurs, entre lesquels sont câblés 11 DEM mesurant le flux optique.
Crédit photo : Nicolas Franceschini.

[4] Nicolas FRANCESCHINI, « Small brains, smart machines: from fly vision to robot vision and back again ». Proceedings of the IEEE, 102(5), 751-781, 2014.

[5] Nicolas FRANCESCHINI et Roger CHAGNEUX, « Repetitive scanning in the fly compound eye », In Proc. 25th Gottingen Neurobiology Conference, p. 279, 1997.

[6] Fabrizio MURA and Nicolas FRANCESCHINI, « Biologically inspired 'retinal scanning' enhances motion perception of a mobile robot », In 1st Europe-Asia Congress on Mechatronics (Vol. 3, pp. 934-940). ENSM, Besançon, France, 1996.

La série **OSCAR I**[7] (2001) et **OSCAR II**[8] (2007) de 0,1 kg chacun illustre cette voie biomimétique alternative avec une rétine ultra-simplifiée (seulement deux pixels) montée sur un dispositif vibrant. En convertissant le contraste d'un bord en signal temporel de flux optique, le micro-balayage rétinien permet à OSCAR I de fixer un contour avec une précision angulaire (0,1°), soit une précision quarante fois meilleure que l'angle inter-pixel. OSCAR I & II montrent qu'une hyperacuité naît à moindre coût en termes de ressources. Le micro-balayage rétinien inspiré de la mouche, sur lequel reposent les robots SCANIA, OSCAR I & II, ouvre la voie à des systèmes anticollision et de poursuite non émissifs, précis et à bas coût, comme ceux requis pour l'évitement de collision d'aéronefs, ou la détection de lignes électriques par les hélicoptères. Ces prototypes ont prouvé qu'une vision active supplée avantageusement une rétine à densité élevée de pixels, ouvrant la voie à des capteurs visuels ultralégers pour la robotique mobile tout en expliquant les astuces de la vision des mouches.

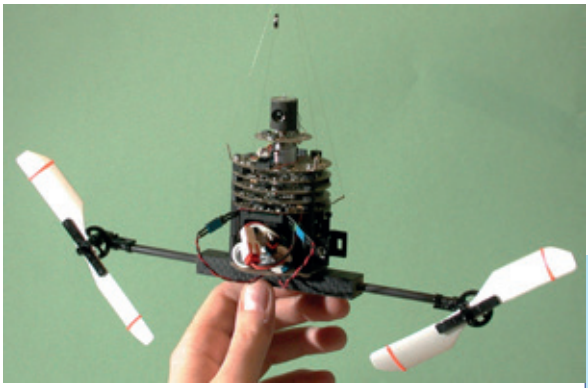


Figure 3 : Robot aérien OSCAR I (2001)
Crédit photo : Stéphane Viollet et Nicolas Franceschini.

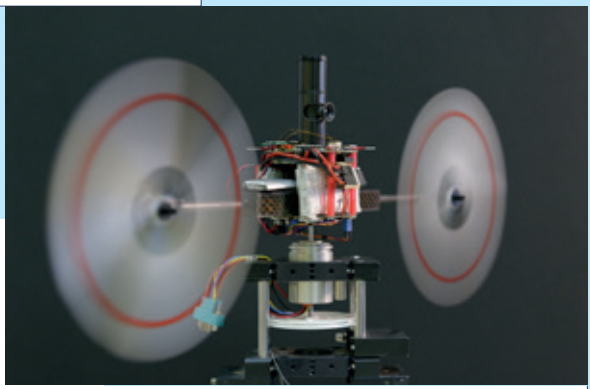


Figure 4 : Robot aérien OSCAR II (2007)
Crédit photo : Lubin Kerhuel, Stéphane Viollet et Nicolas Franceschini

[7] Stéphane VIOLLET and Nicolas FRANCESCHINI, « Super-accurate visual control of an aerial minirobot ». Proc. of Autonomous Minirobots for Research and Edutainment AMIRE, U. Rückert, J. Sitte and U. Witkowski, Eds., Paderborn, Germany, 215-224, 2001

[8] Lubin KERHUEL, Stéphane VIOLLET and Nicolas FREANCESCHINI, « A sighted aerial robot with fast gaze and heading stabilization ». 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 2634-2641), IEEE, 2007.

Troisième rupture technique : quatre biorobots : FANIA, OCTAVE, LORA, et BeeRotor, basés sur une régulation de flux optique

Dans les années 2000–2015, l'équipe Biorobotique explore la détection de collision et la régulation du mouvement. Le principe de régulation du flux optique repose sur la perception de la vitesse angulaire du défilement visuel et son maintien quelles que soient les variations de la géométrie de l'environnement.

FANIA (0,84 kg) est un robot aérien captif doté d'un œil de 20 pixels volant à une vitesse constante en ajustant sa poussée verticale, il a pour tâche d'éviter le sol lors de ses rotations. Tout comme un insecte en vol, FANIA s'efforce, en agissant sur sa poussée verticale, de maintenir constant son flux optique ventral pour suivre un terrain vallonné.

OCTAVE, LORA et BeeRotor apportent une amélioration essentielle à FANIA, en implémentant un véritable 'régulateur de flux optique'.

OCTAVE[9] (0,1 kg) est un robot aérien captif, monté à l'extrémité d'un bras rotatif. En tournant autour de son pilier central, il réussit à suivre un terrain incliné, quelle que soit sa vitesse. OCTAVE possède un unique DEM pour mesurer le flux optique ventral, qu'il maintient constant du décollage à l'atterrissage.

LORA[10] (0,87kg) est un aéroglisseur, guidé par ses flux optiques ventral et latéraux. Le même principe de « régulation du flux optique » le rend alors capable d'ajuster automatiquement sa vitesse et sa distance aux parois d'un couloir étroit, tout comme le ferait une abeille.



Figure 5 : Robot aérien captif OCTAVE (2005)
Crédit photo : Hubert Raguet / CNRS Images.



Figure 6 : Aéroglisseur LORA (2012)
Crédit photo : Frédéric Roubieu, Julien Serres, Nicolas Franceschini, Franck Ruffier, Stéphane Viollet.

[9] Nicolas FRANCESCHINI, Franck RUFFIER, and Julien SERRES, « A bio-inspired flying robot sheds light on insect piloting abilities ». Current Biology, 17(4), 329-335, 2007.

[10] Frédéric ROUBIEU, Julien SERRES, Fabien COLONNIER, Nicolas FRANCESCHINI, Stéphane VIOLLET, et Franck RUFFIER, « A biomimetic vision-based hovercraft accounts for bees' complex behaviour in various corridors ». Bioinspiration & biomimetics, 9(3), 036003, 2014.

BeeRotor[11] (0,08 kg) est un robot aérien monté sur bras rotatif. Une boucle de rétroaction réoriente son œil composé (œil 'Curvace') parallèlement à la surface suivie, afin qu'il perçoive de manière anticipée toute variation du relief, au moyen du flux optique ventral. Il se redresse alors et franchit des reliefs accidentés. Dans un tunnel éclairé, BeeRotor est capable d'éviter les obstacles sans utiliser ni accéléromètre, ni mesure inertielle, ni mesure de vitesse, ni mesure d'altitude.

[11] Julien SERRES, Stéphane VIOLLET, et Franck RUFFIER, « Microdrones bio-inspirés - Doter nos futurs robots aériens de l'agilité des insectes ». Les Techniques de l'Ingénieur, S7717-V1, 2017.

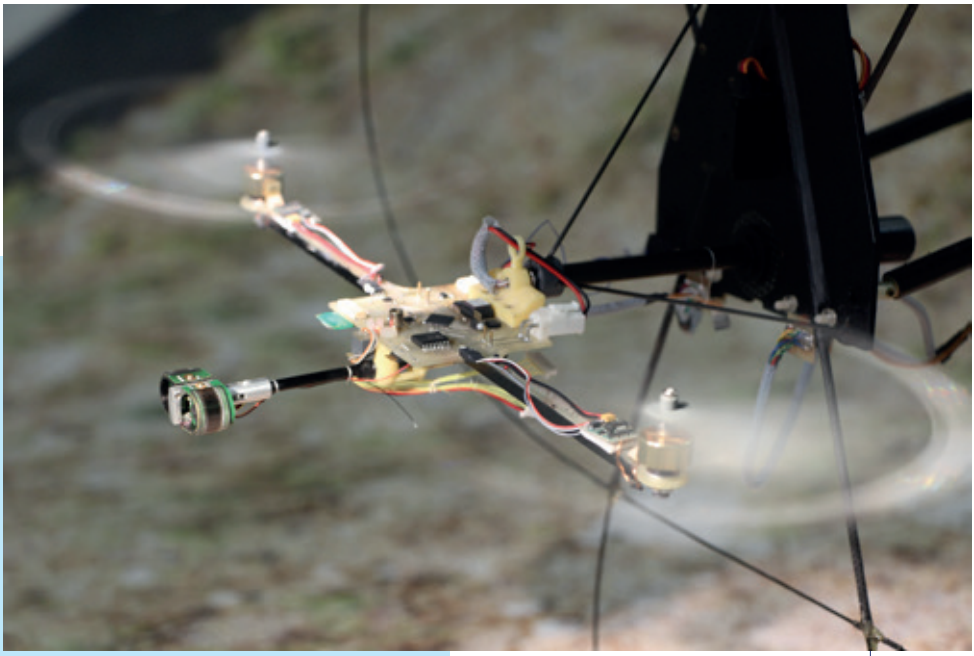


Figure 7 : Aéronef BeeRotor (2019)
Crédit photo : Fabien Expert et Franck Ruffier

Vers l'industrialisation des biorobots avec la création d'une start-up

Depuis 35 ans, la lignée des robots s'est diversifiée vers une miniaturisation extrême, intégrant pas à pas de nouvelles idées issues de la biologie. Aujourd'hui, l'ajout d'une perception de la polarisation du ciel, permet à nos biorobots de se fier à une 'boussole optique' et une odométrie visuelle (estimation des distances) exploitant les ultimes développements en matière de détecteurs de mouvement (DEM). Ainsi, le robot-fourmi AntBot[12] (1,9 kg) se déplace à l'extérieur sur des dizaines de mètres et revient à son point de départ avec une précision centimétrique, sans exploiter ni cartographie ni géolocalisation par satellites.

[12] Julien DUPEYROUX, Julien SERRES and Stéphane VIOLLET, « AntBot: A six-legged walking robot able to home like desert ants in outdoor environments », Science Robotics, 4, vol. 27, eaau0307, 2019.



Figure 8 : Robot hexapode AntBot (2019)
Crédit photo : Julien Dupeyroux

LIGNÉE TECHNIQUE* OU L'ÉVOLUTION D'UN INSTRUMENT

*Définition d'une lignée technique :
« [...] les objets évoluent selon des « lignées », c'est à dire des ensembles regroupant les objets de même type, ayant même fonction et même principe de fonctionnement ».
Bruno JACOMY

Cette plaquette s'inscrit dans un projet d'inventaire et de valorisation du patrimoine scientifique, technique et contemporain d'Aix-Marseille Université.

Contact :
Culture et Patrimoine Scientifique
Direction de la Recherche et de la Valorisation
3 place Victor Hugo
13003 Marseille
corine.levy-battesti@univ-amu.fr
+33(0)4 13 94 97 29

Conception graphique : DIRCOM amU | octobre 2026 IR

Cette plaquette a été réalisée en partenariat avec l'Institut des Sciences du Mouvement – Etienne-Jules Marey (amU/CNRS, UMR 7287)

Auteurs du livret :

Julien Serres, Professeur des universités à Aix Marseille Université et Nicolas Franceschini, directeur de recherche émérite au CNRS.

Intervenants scientifiques :

Stéphane Viollet, directeur de recherche au CNRS, Franck Ruffier, directeur de recherche au CNRS

Sur une idée de Corine Lévy Battesti, ingénieure d'étude, chargée de l'inventaire des instruments scientifiques d'amU.