

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 129 (2003)
Heft: 20: Vivre avec un robot

Artikel: Quand l'insecte inspire le robot
Autor: Kaestli, Françoise
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99241>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Quand l'**insecte** inspire le robot

ROBOTIQUE

Quelles que puissent être ses imperfections, la vie présente souvent des solutions qui surprennent par leur simplicité. Aussi, les ingénieurs du Laboratoire de systèmes autonomes se passionnent-ils de plus en plus pour la biologie et confèrent-ils à leurs robots des caractéristiques animales. Une façon de tester des hypothèses comportementales, de renforcer l'autonomie de leurs machines par des solutions évolutives et d'explorer les nouvelles pistes offertes par le comportement collectif. Les trois lignes de recherche présentées ci-dessous ont été retenues parmi une multitude de projets, car la diversité des voies explorées est aussi une caractéristique du vivant dont le laboratoire s'est fait l'émule.

Que l'on parle d'essaims de robots, de robots s'intégrant à un nid de blattes, de robots fourmis testant des comportements collectifs ou encore de robots volants dont les performances s'inspirent largement des stratégies développées par certains insectes, le défi est le même. Il s'agit de comprendre le comportement animal, d'en implanter les caractéristiques déterminantes sur des robots, puis de confronter modèle et réalité - quitte à, peut-être, affiner la perception que l'on a

de l'animal. Dans l'environnement collectif choisi, on privilégie d'une part des capacités sensorielles et des comportements simples entièrement compatibles avec les exigences de miniaturisation et, d'autre part, l'implantation d'algorithmes évolutifs, basés sur des réseaux de neurones, qui favoriseront l'apparition de facultés d'apprentissage et l'émergence de comportements collectifs.

Le robot et les blattes

Dans cette expérience de société mixte blattes-robot, l'enjeu consiste à concevoir un objet toléré par des animaux, pour en influencer ultérieurement le comportement. Cette demande émane surtout des milieux agricoles et des éleveurs qui recherchent un substitut au traditionnel chien de garde ou une manière de faire prendre de l'exercice à des poussins, par exemple. Elle se déroule dans le cadre d'un projet européen, qui a l'ambition de contrôler des sociétés mixtes grâce à des dispositifs munis de vie artificielle et de valider ses concepts en les expérimentant en laboratoire et dans l'agriculture. Baptisé *Leurre*, le projet rassemble des laboratoires d'écologie sociale, d'éthologie et de sciences de l'ingénieur, en France, Belgique et Suisse (<http://www.ulb.ac.be/sciences/leurre/main.html>).

Le robot insecte *InsBot* basé sur le robot *Alice*

Dimensions : 22mm x 21mm x 20mm
Vitesse : 40 mm/min
Consommation : 2-17 mW
Communication : par infrarouge local (6 cm), infra rouge et radio
Autonomie énergétique : jusqu'à 10 heures

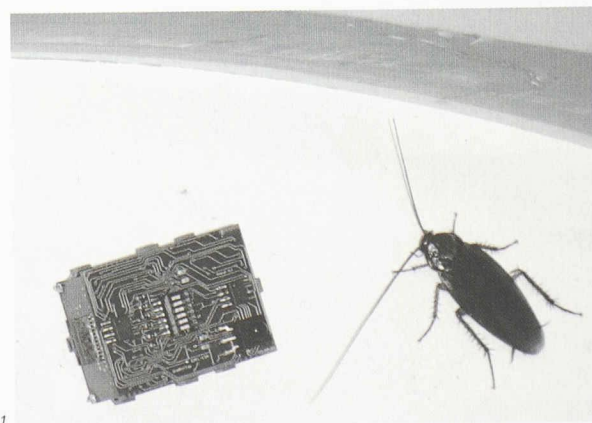


Fig. 1 : InsBot : le robot imite les comportements déterminants des blattes, pour s'intégrer à une colonie, dans le but d'influencer les habitudes des insectes.

Fig. 2 : La simulation sur ordinateur d'une colonie de fourmis à la recherche de nourriture. Deux items sont à disposition, des petits adaptés aux forces d'une fourmi seule, des gros qui nécessitent la collaboration de deux animaux.

Fig. 3 et 4 : Le robot en version réelle et son environnement d'expérimentation

Une des caractéristiques des sociétés animales étudiées est leur forte tendance à s'organiser comme groupe et à produire des comportements d'ensemble : synchronisation des réactions, notamment lors de mouvements de panique, attroupements, etc. Pour mieux comprendre et étudier les comportements des blattes, un dispositif externe les a tout d'abord suivies. On a ensuite modélisé sur un mini-robot les comportements déterminants de ces orthoptères nocturnes (manière de se déplacer, tendance à l'agrégat, caractéristiques chimiques), avec l'hypothèse que certains des paramètres retenus s'avèrent généralisables à d'autres animaux sociaux (moutons, poules). Les règles adoptées se traduisent par un déplacement aléatoire, sauf en présence d'un obstacle que l'insecte a alors tendance à suivre, un comportement grégaire (traduit par une probabilité d'arrêt fonction du nombre d'individus immobiles perçus), un mouvement fluide, sans accélération brusque (qui pourrait être interprétée comme de l'agressivité), une vitesse calquée sur celles des autres insectes, une annonce visuelle ou auditive de toute mise en mouvement. Moyennant ces quelques précautions et l'adaptation du micro-robot existant *Alice*, le robot insecte a su passer relativement inaperçu dans la colonie de blattes (fig. 1 et encadré p. 12). Respectant les règles usuelles de proximité en usage dans la communauté, il n'a pas suscité de stress parmi les insectes. Sera-t-il capable d'influencer le comportement collectif de ses congénères biologiques, jusqu'à les rassembler dans un endroit choisi ? La poursuite des recherches devra répondre à cette question.

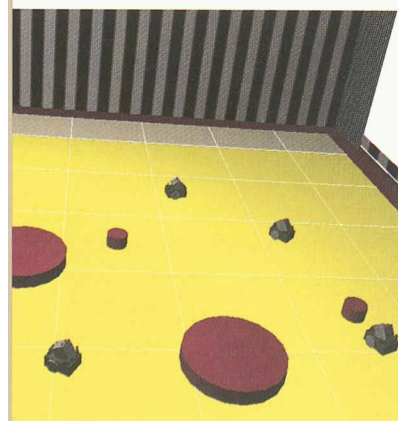
Dans la fourmilière

Un autre comportement observé en vue d'être plagié est celui des fourmis. Leur capacité à s'organiser collectivement

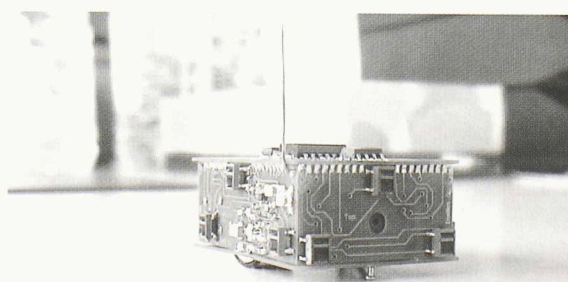
et à collaborer pour des tâches qu'elles ne peuvent effectuer seules - notamment lorsqu'elles s'agglutinent pour franchir un obstacle - pourrait en effet être conférée aux robots d'exploration spatiale ou sous-marine et à ceux chargés de missions de sauvetage.

En collaboration avec le Laboratoire de zoologie de l'université de Lausanne, l'équipe du professeur Dario Floreano étudie l'évolution de colonies de fourmis artificielles, et plus particulièrement les facteurs favorisant l'apparition d'un comportement coopératif. Les résultats devraient permettre de valider en retour les hypothèses des biologistes sur l'évolution des comportements d'animaux dits sociaux.

Dans une première phase et pour développer en accéléré des générations successives d'individus, une simulation de robots-fourmis a été réalisée sur ordinateur (fig. 2). Dotés de facultés de communication et de vision simples, ces insectes virtuels sont chargés d'explorer un territoire et de rapporter de la nourriture au nid. Celle-ci se présente sous deux formes : de petits objets, transportables par un robot seul, et de gros objets qui nécessitent la collaboration de deux entités, les limitations de chaque individu favorisant ainsi le comportement collectif. Au départ, les systèmes sont dotés de « gènes » ou algorithmes génétiques autorisant huit comportements différents : ne rien faire, ne prendre que de petits objets, prendre de gros objets, aider d'autres individus, etc. Interviennent encore d'autres paramètres, tels la valeur énergétique attribuée à la nourriture rapportée au nid, ce qui permet de favoriser plus ou moins le comportement collectif : un petit objet étant par exemple crédité d'un point, un gros de seize. Au départ, on dispose de vingt colonies de vingt individus chacune dont les « gènes » sont programmés aléatoirement. Chaque colonie va ensuite évoluer, c'est-à-dire



3



4





5



6



7

Le robot S-Bot

Dimensions : 170mm x 120mm x 180mm
 Caractéristiques physiques liées à la préhension : deux pinces permettant de s'accrocher à d'autres robots
 Electronique embarquée : 9 actuateurs, 50 capteurs, 13 processeurs
 Vitesse : 200 mm/s
 Consommation : 3-5W
 Communication : radio, son, lumière visible
 Autonomie énergétique : environ 3 heures

se reproduire selon les différentes modalités possibles. Selon que l'on choisit des colonies au « patrimoine génétique » plutôt homogène ou hétérogène, selon que l'on sélectionne pour les reproduire les colonies les plus performantes ou les individus les meilleurs, des différences dans la fréquence d'apparition de comportements collectifs se manifesteront après une centaine d'itérations. On constate ainsi que les comportements coopératifs apparaissent plus fréquemment lorsque les individus présentent des codes génétiques apparentés et quand la sélection s'effectue sur la colonie toute entière. Ces résultats, et ceux encore à venir, intéressent particulièrement les biologistes qui s'interrogent sur les clés de l'organisation et de la division du travail dans les colonies d'insectes en fonction de la modification de certains

facteurs génétiques. La prochaine étape aura pour but de valider ces expériences avec de vrais robots (fig. 3 et 4) en incluant les effets de paramètres dynamiques (vitesse, distance parcourue, énergie consommée) affectant les coûts et bénéfices liés à la collecte de nourriture.

Dans la même ligne de recherche, mais avec un accent mis sur la structure physique de robots destinés à s'assembler et à s'auto-organiser pour franchir un obstacle, un autre groupe de l'EPFL construit des essaims d'insectes virtuels, les *Swarm-Bots* (fig. 5 et 6). Ce projet est soutenu par le programme de la Communauté européenne intitulé « Futur et technologies émergentes ». Un essaim de trente à trente-cinq S-Bots (fig. 7 et encadré ci-dessus) va tester les conditions d'acquisition de compétences collectives allant au-delà des

Un système de vision active et évolutive

Est-il possible de ne consacrer que quelques neurones artificiels à la vision d'un robot ? C'est ce que tentent le professeur Dario Floreano et son équipe dans l'idée de développer un système performant utilisant très peu de ressources informatiques, le *Smart-Eye*. Dans une première phase et de façon aléatoire, le système doté de neuf neurones va explorer une image, tandis que chaque reconnaissance exacte d'objets est récompensée. Les paires de neurones les plus performantes sont ensuite sélectionnées pour donner naissance à de nouveaux neurones hybrides, qui deviennent peu à peu capables de décider eux-mêmes des caractéristiques déterminantes d'une image observée et d'en extraire certaines formes en un nombre limité d'itérations. Par exemple, la recherche d'une verticale suffira à différencier un carré d'un triangle, la présence d'un contraste sur les bas-côtés d'une route permettra à une voiture de suivre les méandres de son parcours.

En définissant lui-même les caractéristiques intéressantes de son champ de vision, en sélectionnant les zones à observer grâce à des filtres sélectifs et en gérant le déplacement de son « œil », ce système a l'ambition de surpasser ses concurrents en efficacité, tout en requérant très peu de ressources de calcul. Il a déjà été implanté avec succès sur les S-Bot et dans des simulateurs de course automobile, même s'il faut reconnaître que les environnements visuels auxquels il est soumis sont encore pauvres. Grâce aux algorithmes génétiques qui lui confèrent la possibilité d'évoluer, les chercheurs n'en espèrent pas moins aboutir à la gestion de situations plus complexes - où le robot décidera de façon autonome quoi regarder et où se déplacer - et à des robots volants nécessitant une vision tridimensionnelle.

Fig. 5 et 6 : A l'instar des fourmis qui s'agglutinent pour franchir un obstacle (Photo UNIL), on rêve de doter les robots d'exploration spatiale de comportements analogues (essaim de Swarm-Bots, image de synthèse).

Fig. 7 : Le S-Bot, un élément de l'essaim

Fig. 8 : Une première direction de recherche pour les robots volants : le C4, sorte de libellule extrêmement légère qui possède une caméra, un système de propulsion et de contrôle intégrés.

compétences individuelles limitées de chacun (chaque individu est capable d'effectuer des tâches relevant de la navigation, de la perception de son environnement ou de la saisie autonome d'objets). Pour la partie pilotage, les chercheurs s'appuient sur les résultats obtenus lors d'autres expériences avec des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques.

Le robot volant, plate-forme de recherche

L'espion parfait, le drone qui surveillerait nos activités de façon autonome et sans se faire remarquer, certaines nations en rêvent... Les applications militaires ne sont toutefois pas les seules visées et l'intérêt de l'EPFL se focalise davantage sur un robot « sauveteur », capable d'intervenir après une catastrophe. Cela étant, il s'agit encore de rêves à très long terme. Pour un robot, le passage à un déplacement dans la troisième dimension ajoute en effet énormément à la complexité déjà rencontrée par ses homologues mobiles terriens. A la difficile maîtrise du milieu aérien (vent, précipitations) s'ajoutent des obstacles tels que l'impossibilité de communiquer par câbles ainsi que les problèmes cruciaux relevant de l'indépendance énergétique, de la dynamique sophistiquée du vol et de complications inhérentes à la définition et à la mesure des performances (un déplacement terrestre se mesure en tours de roue ou vitesse du véhicule, alors que la dérive d'un aéronef est difficile à évaluer). Les défis posés par un système de contrôle évolutif, bio-inspiré, et un système de vision capable d'opérer en temps réel dans un espace fermé sont mis en évidence sur deux types d'engins : C4, grosse libellule d'une dizaine de grammes (fig. 8 et encadré)

C4, le robot libellule

Taille : environ 80 cm d'envergure (un modèle plus récent a été réduit à 40 cm)

Poids : 50 gr. (10 gr. pour le dernier né des prototypes)

Electronique embarquée : un microcontrôleur, une caméra VGA couleur

Communication : sans fil via le protocole *Bluetooth* autorisant une distance de 15 m

Energie : batterie *LiPoly* avec une autonomie d'une vingtaine de minutes

Système de propulsion : une hélice directionnelle permettant une vitesse maximale de 1,4 m/s

Une version télécommandée, d'une dizaine de grammes existe déjà.

Ce modèle est construit à partir d'éléments fournis par la société DIDEL, dirigée par Jean-Daniel Nicoud, ancien professeur de l'EPFL.

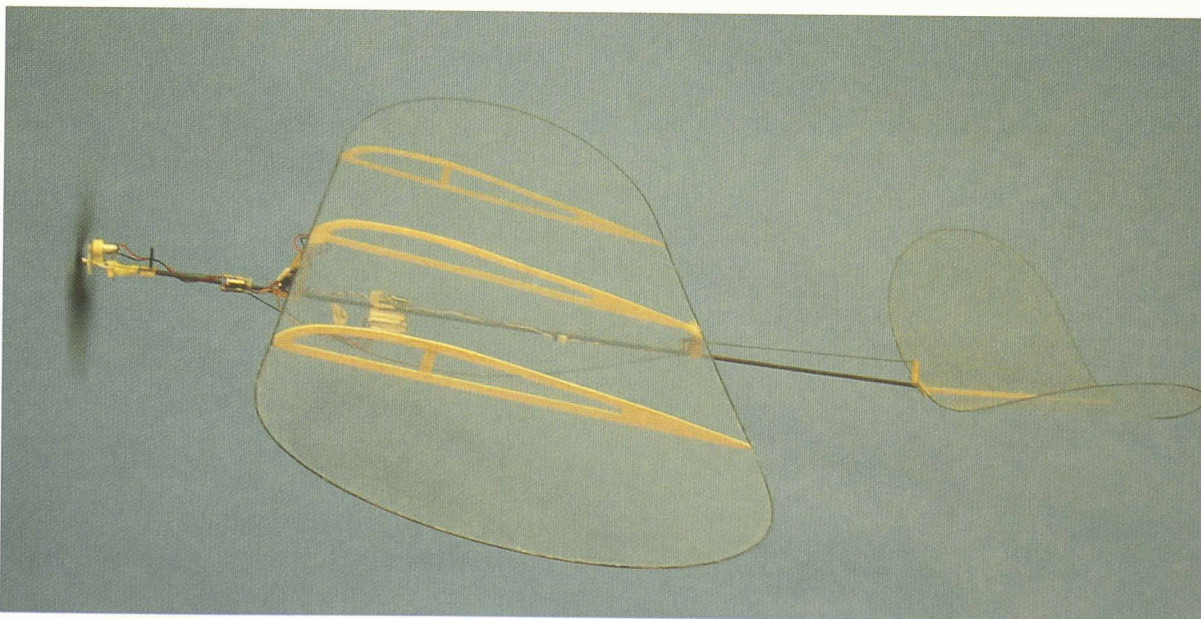
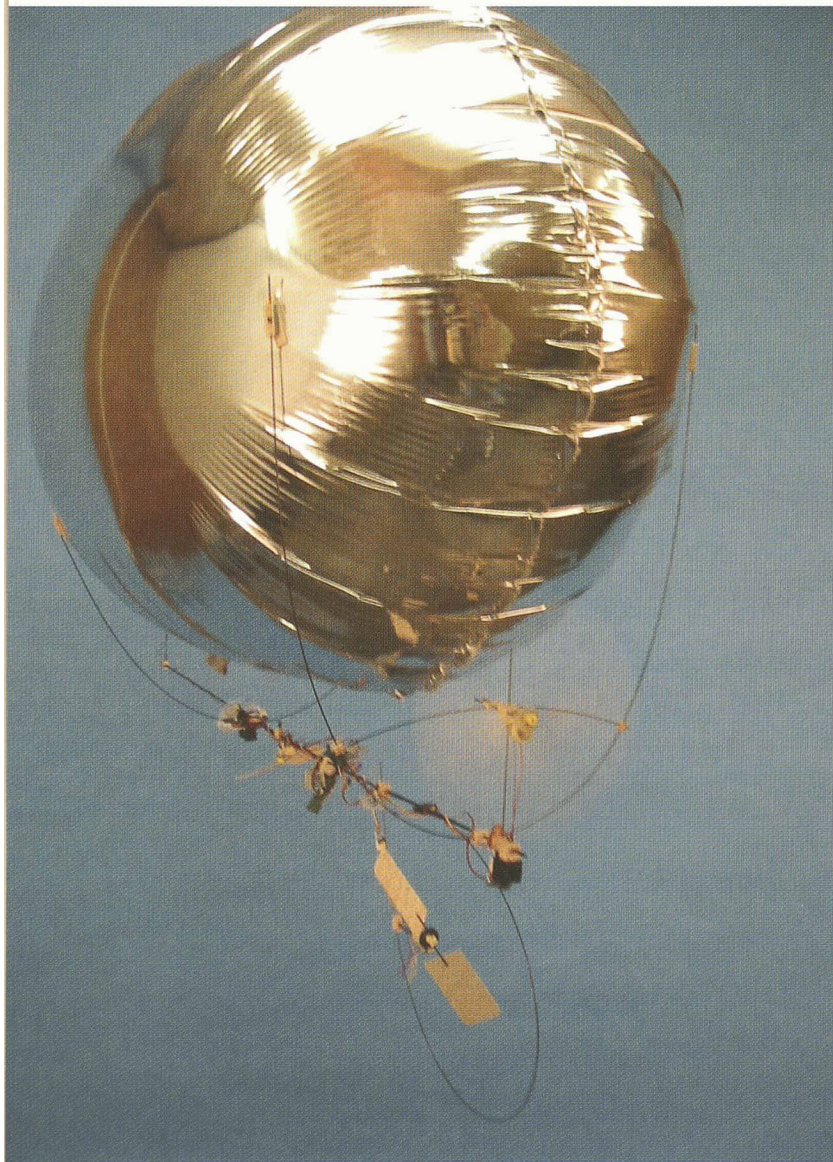


Fig. 9: Une deuxième direction de recherche pour les robots volants : le Blimp, dirigeable de petite dimension, qui possède une caméra, un système de propulsion et de contrôle intégrés.

(Sauf mention, toutes les photos illustrant cet article ont été fournies par le Laboratoire de systèmes autonomes de l'EPFL)



et *Blimp*, dirigeable de la taille d'un jerrican mais léger comme un petit pain (fig. 9 et encadré) et . Ces aéronefs sont équipés de technologies mises au point pour les téléphones cellulaires : caméras vidéo miniatures, batteries lithium-polymère extra légères. Pour approcher la maîtrise de la troisième dimension, une première expérience a été menée avec un robot *Khepera* muni de roues et d'une caméra linéaire (capable d'évaluer des flux optiques, comme la mouche le fait) dans une boîte balisée de lignes verticales de type code barre. Livré à lui-même pendant quarante-huit heures, il a pu adapter son dispositif de contrôle (en laissant son « code génétique » évoluer sur plusieurs itérations), de façon à ne jamais toucher les parois. Le système a ensuite été installé sur le dirigeable *Blimp* enfermé dans une arène de cinq mètres de côté, elle aussi marquée de lignes sombres. Dans cette configuration, le dirigeable développe sa stratégie pour éviter les murs. L'étape suivante consistera à installer le dispositif de contrôle sur un avion télécommandé se déplaçant dans un espace fermé.

Françoise Kaestli, rédactrice responsable
de la rubrique Nouvelles Technologies

Blimp, le minidirigeable

Taille : ballon de 1 mètre, rempli d'hélium
Poids : 200 gr.
Electronique embarquée : une caméra miniature linéaire, un microcontrôleur, capteurs de distance, anémomètre, gyroscope
Communication : sans fil via le protocole Bluetooth assurant une autonomie de 15 mètres
Energie : Batterie LiPoly tenant plus de cinq heures en fonctionnement normal
Système de propulsion : trois hélices