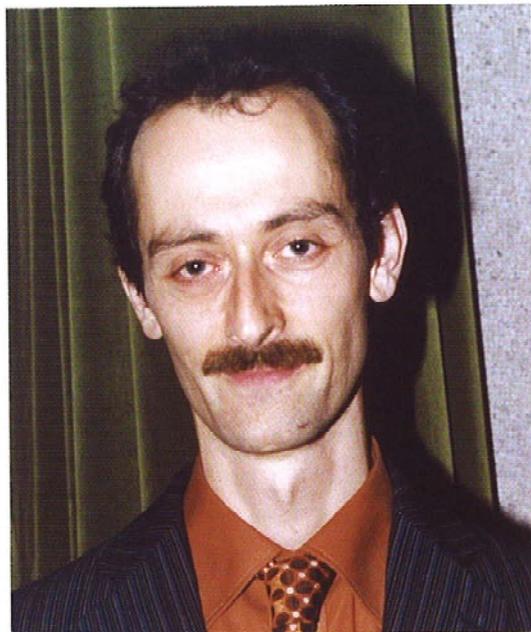


**MOBILE ROBOTS FOR A SYNTHETIC  
APPROACH TO INTERDISCIPLINARY  
RESEARCH**



**FRANCESCO MONDADA**

ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

L'ingénieur roboticien typique est régulièrement confronté à des machines, les robots, qu'il / elle construit et qui doivent faire une certaine tâche. Malheureusement ce n'est pas évident de savoir comment faire faire cette tâche au robot.

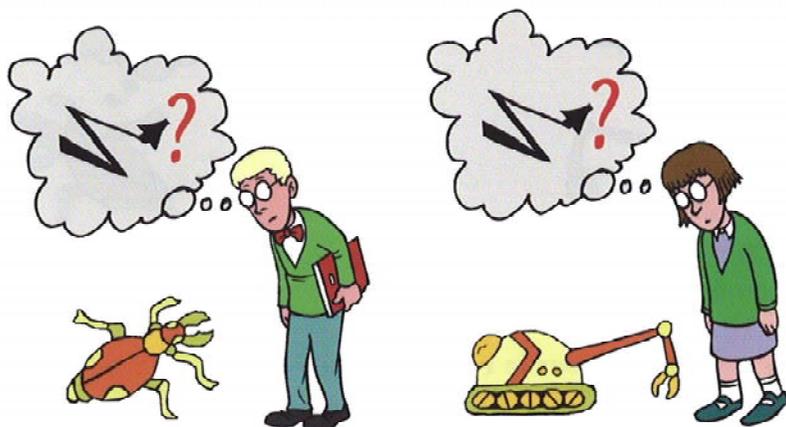


Fig 1 : Le biologiste (gauche) et l'ingénieur (droite) se trouvent à analyser ou synthétiser des systèmes autonomes assez similaires.

Un peu plus loin, parfois sur le même campus, il y a un collègue de l'ingénieur roboticien, qu'on appelle le biologiste, qui lui est régulièrement confronté à des machines (les animaux) qu'il ne construit pas, elles existent. Par contre il les analyse et il voit qu'elles savent très bien faire certaines tâches. Pour lui ce n'est pas évident de comprendre comment ces machines fonctionnent si bien.

Dit comme cela il apparaît évident qu'il y a des liens possibles entre les machines à faire fonctionner de l'ingénieur et les machines qui fonctionnent bien du collègue biologiste. Reste à savoir comment faire ce lien pour que l'un ou l'autre, ou encore mieux les deux, biologiste et ingénieur, puissent apprendre plus par un travail commun.

Dans cette présentation je vais vous soumettre trois exemples de comment nous avons pu faire cela. Ces trois exemples forment une suite logique qui est en effet le cœur de mes derniers 13 ans de recherche.

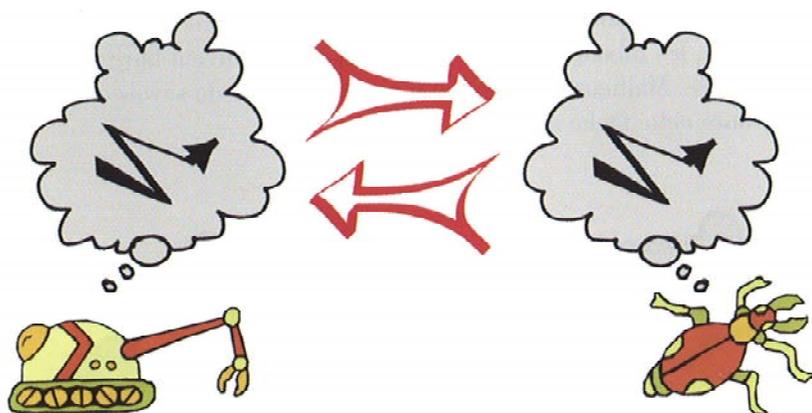


Fig 2 : Il semble évident qu'il y a des liens possible entre la façon de fonctionner des robots et des animaux.

### Les projets basés sur le robot Khepera

Le premier exemple a été le début de cette histoire. Il se « limite » à prendre quelques éléments du monde animal pour les adapter au contrôle d'un robot « classique ». Des animaux, nous avons copié les neurones du cerveau, l'évolution des espèces par la sélection des individus sur la base de leur information génétique, et les comportements collectifs de certains insectes.

Pour appliquer ces éléments aux robots, qu'on va appeler bio-inspirés, nous avons construit un robot mobile de petite taille qu'on a appelé Khepera, nom aussi bio-inspiré, qui vient d'un dieu égyptien avec une tête de cafard. Ce robot a la caractéristique d'être petit (7 cm de diamètre), modulaire, et surtout facile à utiliser car il peut être lié à un ordinateur et rouler sur une table, simplifiant son maniement, sa programmation et donc aussi son utilisation pour des expériences de type biologique.

En utilisant ce robot nous avons commencé à appliquer de l'évolution artificielle sur des comportements définis par un code génétique, mauvais ou aléatoire au début, mais de plus en plus efficace sous l'effet de la sélection (ici artificielle et pas naturelle) qu'on a appliqué. Nous

avons ainsi obtenu un comportement de suivi de couloir par sélection génétique, ou encore un comportement d'un robot allant régulièrement à son nid pour y charger ses batteries. Ici aussi l'évolution artificielle basée sur un codage génétique du comportement a été très efficace et permet une exploitation optimale de la recharge des batteries.

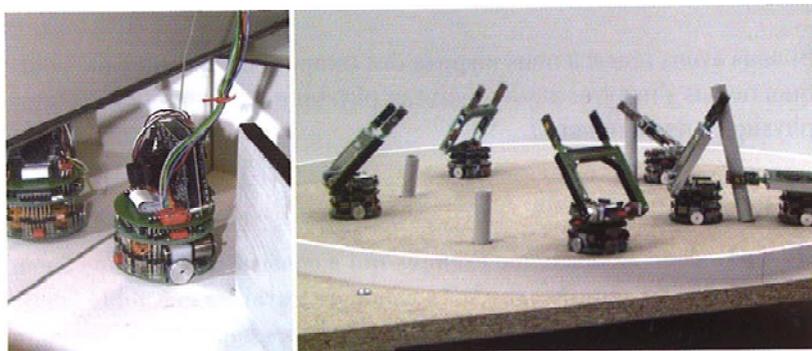


Fig 3 : Le robot Khepera équipé d'une caméra dans un labyrinthe (gauche) ou avec une pince dans une expérience collective (droite).

Quand on regarde un grand nombre de ces petits robots on pense très vite à des fourmis. Nous nous sommes justement inspirés des fourmis pour faire une série d'expériences sur les comportements collectifs et leur utilité en robotique. Nous avons ainsi réalisé des comportements de rassemblement et triage d'objets ou, une tâche plus complexe, l'extraction d'un bâton enfilé dans un trou, tâche qui nécessite une collaboration étroite, que les fourmis savent bien résoudre.

On peut dire que ces expériences ont été une révolution pour l'époque, apportant une nouvelle méthodologie d'expérimentation avec les robots (travaillant sur une table), appliquant pour la première fois la sélection génétique sur des robots réels et proposant des nouveaux modèles en robotique collective.

Grâce à une entreprise créée pour produire le robot Khepera, notre méthodologie et cette façon de faire de la robotique bio-inspirée a été adoptée par la communauté scientifique internationale au point où il y a actuellement plus de 1000 laboratoires au monde qui utilisent ce

robot, la plupart se référant à nos travaux. Cette visibilité a porté le robot Khepera sur la couverture de nombreuses publications, dont celles que je préfère sont tout naturellement la couverture du prestigieux *Nature*, et, pas aussi prestigieuse mais tout aussi originale pour un robot de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, la couverture du rapport annuel de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich.

Si nous avons réussi à nous inspirer des comportements animaux, pourquoi ne pas s'inspirer aussi au niveau physique du corps et des actions physiques des animaux ?

### Le projet Swarm-bots

On passe donc au deuxième exemple qui a consisté à copier une façon très efficace de certains insectes sociaux de travailler ensemble : celle de s'accrocher pour former des super-structures capables de résoudre des problèmes qu'une seule fourmi ne peut pas résoudre.

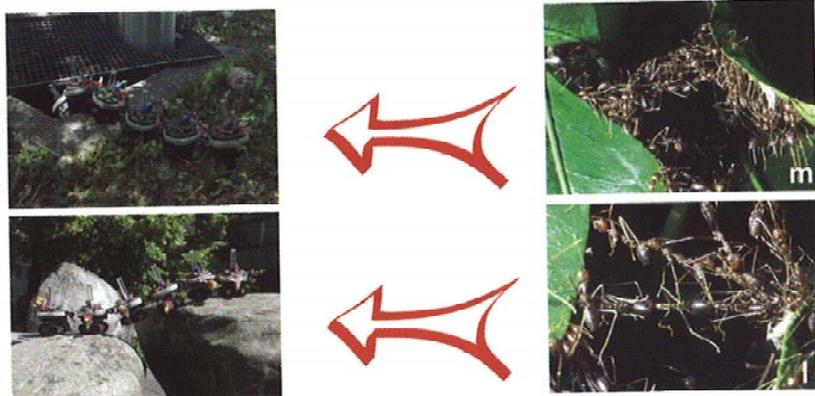


Fig 4 : Le robot swarm-bot, formé de robots connectés entre eux (gauche) s'inspire directement du fonctionnement des fourmis (droite, photo Guy Theraulaz) qui savent ainsi résoudre des problèmes complexes.

Nous avons donc conçu un robot équipé d'une pince (au lieu de la mandibule chez les fourmis) qui lui permet de s'accrocher à ses collègues sur un disque qu'ils ont autour du corps. Ensemble ces robots arrivent à faire des tâches remarquables, qui nous rappellent bien les exploits

des fourmis. Ils passent par exemple un obstacle 10 fois plus grand de ce qu'ils arriveraient à passer tout seul. On est encore loin des performances des fourmis qui arrivent à passer d'une branche à l'autre d'un arbre, mais on atteint déjà des performances fort intéressantes pour la robotique.

Ensemble, malgré qu'ils ne pèsent que 700 grammes, ils peuvent s'organiser pour déplacer un enfant de 20 kg. Là aussi ce type de comportement nous rappelle celui des fourmis ou quelques films de science fiction.

Par ce deuxième exemple nous avons pu initier une nouvelle façon de faire de la robotique collective capable d'exploiter des connexions physiques, nous avons réalisé un des plus complexes systèmes robotiques collectifs et acquis de nouvelles connaissances dans le domaine de l'intelligence collective.

### **Le projet Leurre**

Le troisième exemple pousse l'interaction robot-animal encore plus loin. Pourquoi ne pas les faire interagir directement, les uns avec les autres ?

Nous avons donc développé une méthodologie pour concevoir des robots capables de s'infiltrer dans une communauté d'animaux sociaux, ici des cafards.

Les animaux sociaux, comme les cafards, prennent des décisions de façon concertée, tous ensemble. Ils se regroupent dans un même endroit, par exemple, qu'ils choisissent ensemble. Ce que nous sommes arrivés à faire c'est de faire accepter un robot comme membre de la société de cafard, robot qui doit agir et « puer » comme eux. Avec un tel robot, nous pouvons participer à leurs décisions. Et donc nous pouvons influencer les décisions des cafards, par exemple en les poussant à se regrouper dans un endroit qu'ils n'auraient pas choisi naturellement.

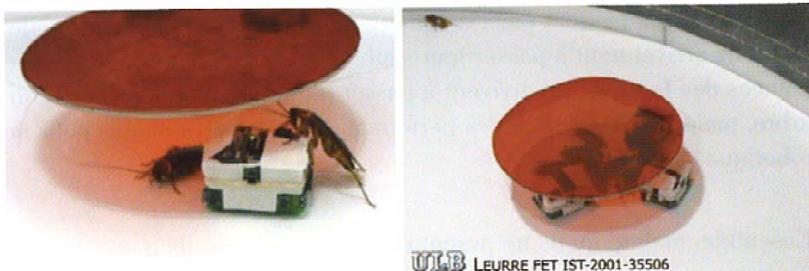


Fig 5 : Le robot insbot interagit avec des cafards pour se faire accepter dans leur société et pouvoir participer à leurs décisions.

Ce dernier exemple constitue la première société mixte d'animaux et de robots, permet un retour aux biologistes par une meilleure connaissance des sociétés d'animaux et nous a permis de définir une méthodologie qui permettra d'influencer d'autres types d'animaux sociaux, comme les poulets ou les moutons.

## Conclusion

A la fin de ce petit exposé, quelques mots de remerciements.

Tout d'abord un grand merci à la fondation Latsis et à l'EPFL pour m'avoir fait l'honneur de ce prix. Plus que pour moi, je suis content de voir ce prix décerné à la robotique, et probablement à une façon scientifique de faire de la robotique, d'exploiter des spin-offs et des ressources très technologiques.

Un autre grand merci va aux personnes qui m'ont accompagné dans cette aventure : dans les projets liés au Khepera un grand merci à Jean-Daniel Nicoud, Edo Franzì, André Guignard, Dario Floreano, Alcherio Martinoli et Jean-Bernard Billeter. Pour le projet Swarm-bots mon merci à André Guignard, Dario Floreano, Michael Bonani, Stéphane Magnenat, René Beuchat, Marco Dorigo et Luca Gambardella. Dans le projet Leurre un grand merci à Roland Siegwart, Fabien Tâche, Gilles Caprari, José Halloy, Jean-Louis Deneubourg, Alcherio Martinoli. Pour leur support dans ma vie privée toute ma reconnaissance va à ma femme Judith Mondada et à nos enfants Luca, Nora et Leonardo, ainsi qu'à mes parents Guglielmo et Maria-Antonietta Mondada. Merci aussi à Marie-Jo Pellaud qui m'a soutenu tout au long de cette aventure depuis son secrétariat.