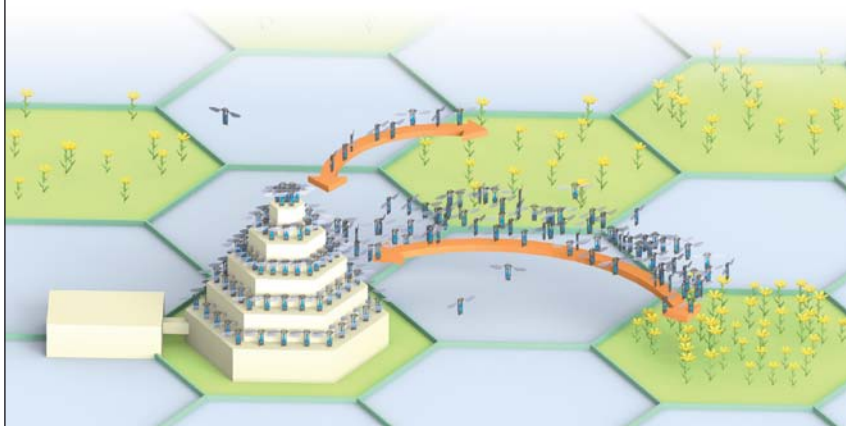


LA COLONIE AU TRAVAIL

Une colonie de milliers de robots-abeilles devra assigner, avec efficacité, des tâches aux différents individus qui la composent, même en l'absence d'une vision globale de l'environnement. Dans le scénario illustré ci-dessous, la ruche a pour tâche de trouver et polliniser des champs de fleurs. Pour commencer, des robots-abeilles explorent différentes régions. À leur retour à la ruche munis d'informations sur les endroits où les fleurs abondent, ces nouvelles informations sont utilisées pour déterminer les zones où se rendront les futures ouvrières. Davantage de robots seront assignés aux zones où il y a plus de travail. Cette stratégie fondée sur la ruche permet aux abeilles de faire montre d'une intelligence collective, même si les contraintes énergétiques limitent la communication entre individus.



des actionneurs de commande plus petits règlent avec précision les mouvements de l'aile pour engendrer un couple destiné aux contrôles et manœuvres de vol.

Le muscle artificiel est constitué de matériaux piézo-électriques qui se contractent quand leur épaisseur est soumise à une tension électrique. Ces actionneurs présentent quelques inconvénients – par exemple, ils nécessitent une tension élevée et sont fragiles –, cependant, ils constituent un cas où la physique de « l'effet d'échelle » est de notre côté. En effet, plus ces actionneurs sont petits, plus ils vont se mouvoir rapidement. Et comme la quantité de travail fournie par cycle (et par unité de masse) reste à peu près constante, un battement plus rapide conduit à une plus grande puissance. De fait, ces muscles développent une puissance comparable à celle des muscles d'insectes de taille similaire.

Au cours de ces dernières années, nous avons expérimenté des dizaines de configurations différentes d'actionneurs et d'articulations. Pour chacune, nous avons notamment cherché à déterminer la facilité avec laquelle nous pouvions la réaliser concrètement, puisque des ruches de robots-abeilles nécessiteront de la production en masse.

Les meilleures ébauches que nous ayons trouvées jusqu'à présent sont fondées sur un sandwich de trois couches : deux plaques dures enserrant un film mince de polymère. Nous créons des articulations en découpant du matériau des couches supérieure et inférieure, ce qui permet à la couche intermédiaire de polymère de fléchir, créant ainsi une articulation de flexion (voir l'encadré pages 66-67).

La source d'énergie, un problème encore non résolu

Nous avons bien progressé dans la construction d'un robot de la taille d'une abeille, mais nous essayons toujours de trouver la meilleure façon de l'actionner. Pour surmonter les fortes contraintes énergétiques du vol à ces petites échelles, une grande partie de la masse du robot doit être consacrée à l'actionneur principal et à la source d'énergie (on peut penser « batterie » ou « piles », bien que nous étudions aussi la possibilité d'utiliser une micropile à combustible à base d'oxyde solide). Ce problème d'énergie a tout d'un cercle vicieux : une importante unité d'alimentation stocke plus

d'énergie, mais nécessite un système de propulsion plus important pour compenser l'augmentation de poids, système qui nécessite à son tour une source d'énergie encore plus volumineuse.

Bien que nous ne puissions pas encore faire voler un robot-abeille grâce à sa propre énergie, nous avons fait la démonstration d'un minirobot de 100 milligrammes capable de produire assez de poussée pour décoller (nous l'avons relié à une source externe d'énergie). Le robot-abeille était également capable de se stabiliser en utilisant une combinaison de mécanismes actifs et passifs. Avec les technologies les plus en pointe en matière de densité d'énergie des piles et au vu de l'efficacité de tous les composants du corps, nous estimons que la durée de vol ne dépasserait pas quelques dizaines de secondes. Pour accroître cette durée, nous cherchons à réduire la masse et à renforcer l'efficacité de chacun des composants du robot.

L'énergie n'est pas le seul facteur qui bride notre robot-abeille. Un cerveau électronique embarqué constitue un autre problème non résolu. Sur le terrain, un robot-abeille devra constamment évaluer son environnement, décider de la meilleure ligne de conduite et commander ses mécanismes de vol. Un dispositif électronique externe fonctionne comme une solution d'appoint dans le laboratoire, mais un robot-abeille en plein travail aura besoin de son propre cerveau.

À un niveau supérieur, le cerveau n'est pas seulement responsable de la commande d'un robot-abeille individuel, mais aussi de la gestion de ses interactions avec les autres robots-abeilles de la colonie. Nous avons entrepris de construire ce cerveau en couches – des capteurs permettant d'interpréter l'environnement physique, un système nerveux électronique qui traite les fonctions de commande de base et un cortex électronique programmable pour prendre des décisions.

Dans une première étape, nous cherchons à mettre au point un sous-système cérébral permettant de voler de façon autonome. Réaliser ce défi suppose une boucle de commande bien ajustée qui englobe des capteurs, des processeurs dont le rôle est de traiter les informations issues des capteurs, mais aussi de commander les actionneurs piézoélectriques. Ce sont ces derniers qui font bouger les différentes parties du corps du robot.