

et évite-t-elle les risques d'une mauvaise communication ?

Une ruche de robots pourrait faire bien plus que de la pollinisation des fleurs (bien que l'agriculture soit une utilisation potentielle). Des robots petits, agiles, simples et peu coûteux pourraient effectuer de nombreuses tâches plus efficacement qu'un petit nombre de robots très performants.

Par exemple, imaginons un secouriste équipé d'une boîte remplie de 1000 robots-abeilles – un ensemble qui pèserait moins

d'un kilogramme. Ces robots-abeilles pourraient être lâchés sur un site ravagé par un tremblement de terre pour rechercher de la chaleur, des voix ou du dioxyde de carbone, qui signalent la présence de survivants. Si seulement trois de ces robots menaient leur mission à bien tandis que tous les autres échouaient, l'essaim aurait réussi à atteindre son objectif. On ne peut pas en dire autant de la génération actuelle de robots secouristes, qui sont bien plus encombrants et coûtent chacun près de 10 000 euros !

Cependant, la réalisation d'une colonie de minirobots volants nécessite de surmonter une kyrielle de défis technologiques. Ces robots ne devront pas mesurer plus de quelques centimètres et peser environ un demi-gramme – environ 100 fois moins que le plus léger appareil volant autonome existant aujourd'hui. Ce dispositif minuscule doit renfermer le système de vol de chaque robot-insecte, son cerveau électronique et son système de vision, ainsi que les commandes qui régissent ses interactions avec les autres membres

LE PROJET ROBOBEE

Le projet *RoboBee* (robot-abeille) a pour but de créer un robot volant autonome de la taille d'un insecte. Les robots-abeilles seront capables de voler grâce à leur propre énergie, de se transporter vers un objectif donné, de s'adapter à des circonstances changeantes et de travailler de façon collective.

Capteur de flux optique

Actionneur de commande

Actionneur principal

Microprocesseur

Circuits d'alimentation

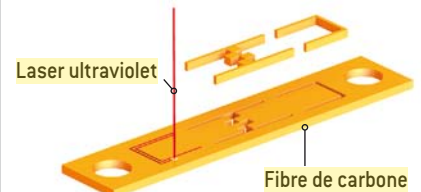
Batterie



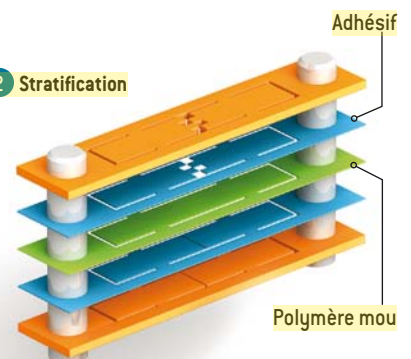
Le RoboBee en taille réelle

Sur ce châssis minuscule, un robot-abeille doit transporter ses muscles artificiels, des capteurs optiques, des processeurs informatiques et une source d'énergie pour faire fonctionner tous ces éléments. L'ensemble pèse environ un demi-gramme.

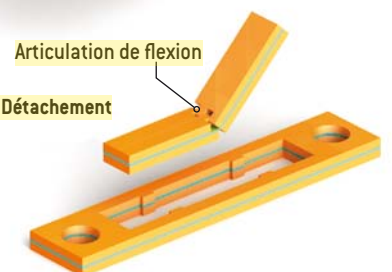
1 Usinage



2 Stratification



3 Détachement



de sa ruche. De récents progrès dans les domaines de la science des matériaux, de la technologie des capteurs et des architectures informatiques mettent ces objectifs à notre portée.

Imiter les muscles alaires d'un insecte

Le défi le plus évident pour la création d'un minirobot volant est de trouver une façon de le faire voler. Malheureusement, les progrès continus réalisés dans la minia-

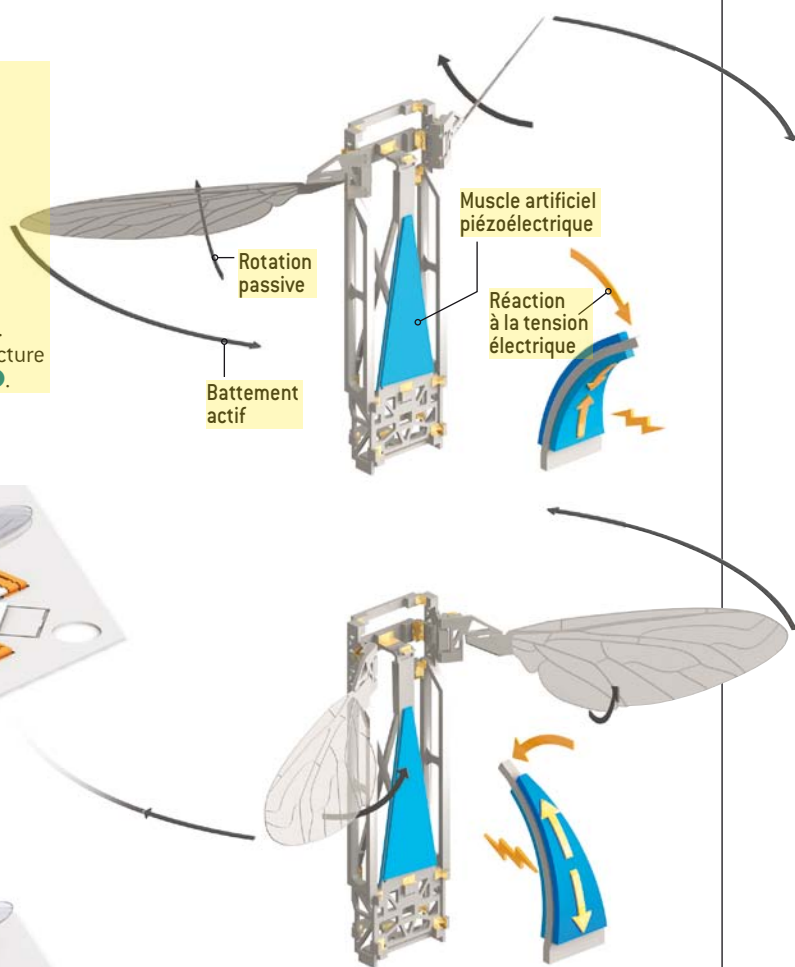
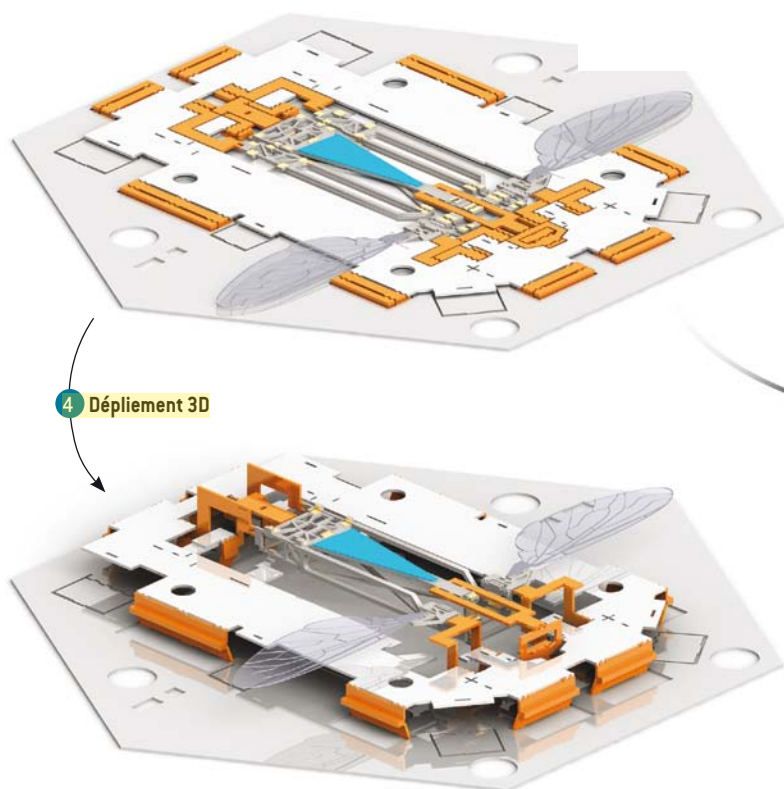
turisation des robots ces dix dernières années ne nous sont pas d'une grande aide, car la petite taille du robot-abeille modifie la nature des forces en jeu. Les forces de surface telles que le frottement commencent à prédominer par rapport aux forces volumiques telles que la gravité ou l'inertie. Ce problème d'échelle exclut la plus grande partie de la boîte à outils usuelle des ingénieurs mécaniciens, notamment les paliers rotatifs, les engrenages et les moteurs électromagnétiques – des composants universels dans

les robots plus grands, mais inefficaces pour un robot-abeille.

À la place de moteurs rotatifs et d'engrenages, nous avons conçu un robot-abeille dont l'anatomie reflète au plus près un insecte volant – les ailes de ce dernier étant actionnées par des muscles artificiels (voir l'encadré ci-dessous). Notre dispositif utilise deux types de « muscles » agissant à l'articulation entre les ailes et le corps. Des actionneurs de puissance relativement grands font osciller le mécanisme aile-thorax pour faire battre l'aile, tandis que

La chaîne de montage

La fabrication de robots aussi petits présente de nombreux défis. Chaque *RoboBee* est construit à partir de couches de matériau dur, en fibre de carbone par exemple, intercalées avec des polymères plus mous. Des trous dans la fibre de carbone permettent aux polymères de fléchir, créant ainsi une articulation de flexion. Cette méthode de stratification a l'avantage de se prêter à une chaîne de montage efficace (ci-dessous à gauche). On réalise d'abord des découpes précises à l'aide d'un laser ultraviolet ①. Puis on aligne les couches et on les assemble avec un adhésif ②. On détache ensuite les composants du substrat ③. Enfin, la structure tridimensionnelle est montée grâce à un dépliement approprié ④.

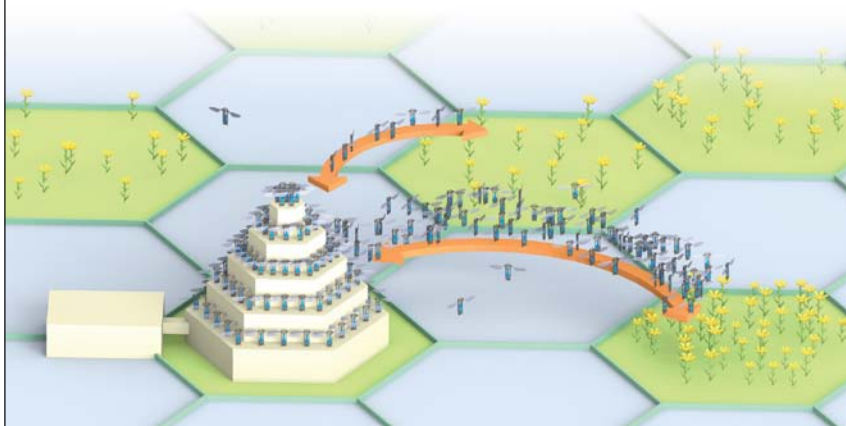


Le battement de l'aile

Le vol du *RoboBee* est assuré par des muscles artificiels, formés de matériaux piézoélectriques qui se contractent sous l'effet d'une tension électrique. Les ailes peuvent se mouvoir de deux façons : un battement d'avant en arrière et une rotation sur elles-mêmes [comme quand on flotte dans une piscine à l'aide des bras]. Les muscles artificiels commandent le battement, mais la rotation est passive [elle est régie par l'inertie de l'aile, l'interaction de l'aile avec l'air et l'élasticité de la charnière de l'aile].

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.