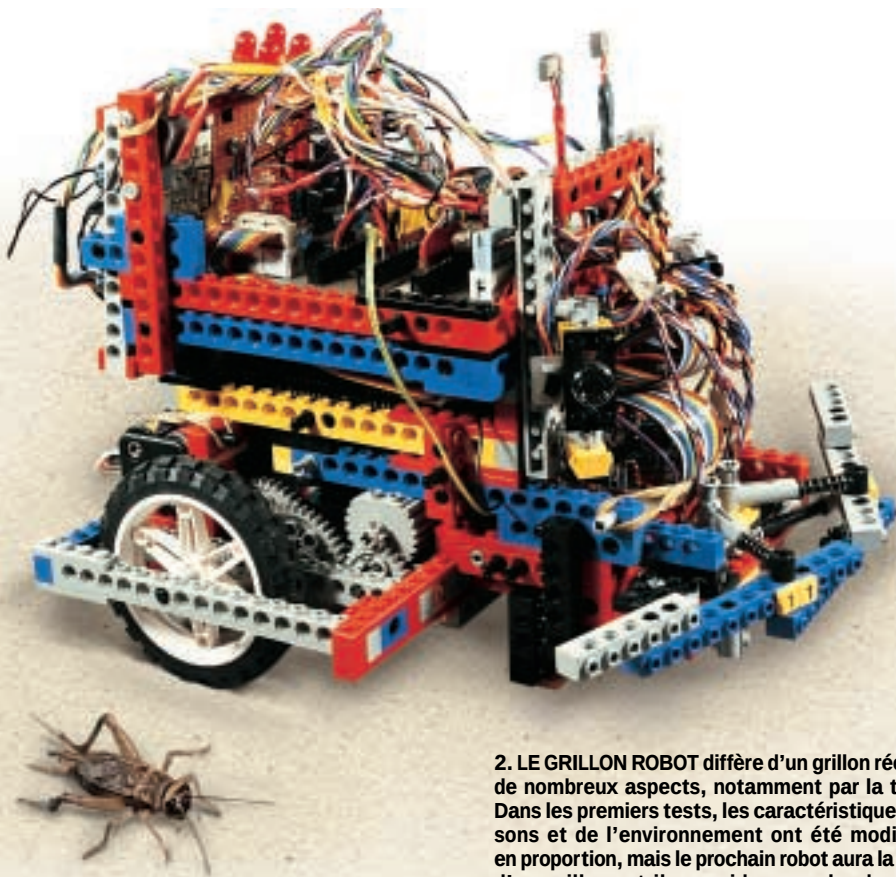




2. LE GRILLON ROBOT diffère d'un grillon réel par de nombreux aspects, notamment par la taille. Dans les premiers tests, les caractéristiques des sons et de l'environnement ont été modifiées en proportion, mais le prochain robot aura la taille d'un grillon, et il se guidera sur le chant de l'animal.

Grillon : Robert P. Carr, Bruce Coleman Inc. Robot : Barbara Webb

de son seuil de décharge, recommence plus rapidement à décharger.

Les femelles ont ainsi deux moyens de se diriger vers le son : à chaque syllabe, soit elles se tournent du côté où la décharge a commencé en premier, soit elles se tournent du côté où le nombre de décharges est supérieur (le résultat est identique dans les deux cas). Dans la première hypothèse, la réaction ne se produit qu'au début d'une syllabe. C'est effectivement le cas, car la répétition des syllabes est bien le facteur qui détermine principalement la réaction des femelles. Quand le son est continu ou se répète plus rapidement que le temps de relaxation des neurones, ceux-ci déchargent en permanence, et la détermination du côté dont le neurone intermédiaire a commencé à décharger en premier devient impossible. En revanche, quand les syllabes sont répétées trop lentement, l'information sur la direction où tourner arrive moins fréquemment, de sorte que la femelle ne parvient pas à se diriger vers le mâle. Le rythme idéal de répétition est situé entre ces deux extrêmes.

L'autre mécanisme possible, l'orientation sur la plus grande fréquence de décharge, indique la direction du son quel que soit le rythme de répétition des syllabes. Il faudrait alors admettre que les grillons possèdent d'autres processus neuronaux pour distinguer les chants ayant le rythme approprié. Ce mécanisme a toutefois la faveur des neurophysiologistes, car on a identifié des neurones du cerveau du grillon qui exerceraient ce contrôle.

Le plus simple

Avec notre robot, nous avons choisi de tester le premier mécanisme, car c'est le plus simple : nous avons équipé le robot d'un système sensoriel qui ne fonctionne que pour un chant de fréquence et de rythme donnés, sans traitement supplémentaire du signal. Le «cerveau» du robot est un microprocesseur qui envoie des commandes de marche et d'arrêt aux moteurs latéraux et qui reçoit des signaux de plusieurs capteurs : outre les microphones et le circuit qui simule le retard et l'annulation de phase dans le système auditif du grillon, le robot est équipé de capteurs infrarouges et de capteurs de choc qui détectent les obstacles. Au total, le programme du robot ne contient qu'une centaine d'instructions.

latérales et une roue directrice à l'avant. Comme il est beaucoup plus grand qu'un grillon, ses oreilles (de petits microphones) sont plus écartées. Nous avons donc ramené la fréquence du chant à deux kilohertz. Un circuit électronique traite les sons comme le système auditif d'un grillon : il produit, toutes les 30 millisecondes, un signal qui correspond à la vibration du tympan. Ce signal a une amplitude supérieure du côté de la source sonore, pour les sons de la bonne fréquence. En pratique, toutefois, les oreilles du robot n'indiquent la bonne direction que dans 90 pour cent des cas, en raison des bruits parasites dans les haut-parleurs, dans la pièce et dans les moteurs du robot.

Deux neurones cruciaux

Comment utiliser, maintenant, la différence d'amplitude de vibration des tympanes afin de diriger le robot ? Pour chaque oreille du grillon, environ 50 neurones sensoriels convergent vers un petit nombre de neurones intermédiaires, dans le système nerveux central de l'insecte. Deux de ces neurones intermédiaires, l'un relié à l'oreille

gauche, l'autre à l'oreille droite, forment une paire qui semble cruciale pour l'orientation vers les sources sonores : en mesurant et en manipulant l'excitation de cette paire de neurones pendant que l'animal marche vers une source, des neurophysiologistes ont établi que l'animal tourne toujours du côté du neurone intermédiaire le plus excité.

Quand une syllabe parvient à une oreille, les influx produits par les neurones sensoriels de cette oreille s'accumulent dans le neurone intermédiaire correspondant. Quand un certain seuil est atteint, le neurone intermédiaire décharge (à son tour, il émet des influx nerveux) plusieurs fois au cours d'une même syllabe. Le délai entre la réception du son et la première décharge, ainsi que le nombre de décharges pendant une syllabe, dépendent de l'intensité des influx reçus par le neurone (elle-même proportionnelle à l'amplitude de vibration du tympan). Ces deux paramètres de l'activité des neurones codent donc la vibration des tympanes. À la fin d'une syllabe, le neurone revient progressivement au repos. Si un autre son est capté pendant ce temps de relaxation, le neurone, encore proche

Ce programme additionne les signaux de sortie du circuit auditif. Lorsqu'un côté atteint le premier un seuil prédéterminé, la roue de ce côté est brièvement stoppée : le robot tourne. Quand le son persiste, la somme reste supérieure au seuil et ne déclenche aucune réaction supplémentaire : le robot poursuit son chemin dans sa nouvelle direction. Lorsque le son s'arrête, la somme s'annule progressivement, simulant la période de récupération du neurone du grillon. Ainsi, seul un son discontinu et répétitif provoque une réponse assez fréquente pour que le robot se dirige en direction du son.

Comme le robot traite les sons plus lentement qu'un grillon, nous lui avons fait entendre un chant dont le rythme, à 300 millisecondes par syllabe, est inférieur d'un facteur dix environ au rythme naturel. Toutefois le robot tourne et avance aussi vite qu'un vrai grillon : sa tâche est plus difficile. Nous supposons que, si le robot ainsi construit trouvait la source d'un son, les mêmes mécanismes pourraient contrôler le comportement d'orientation chez les grillons.

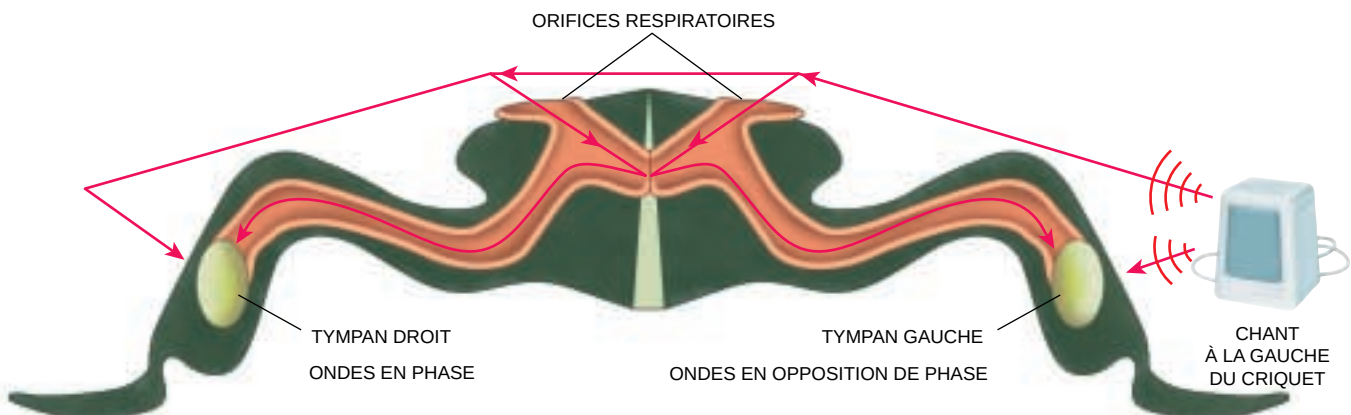
Lors des tests, nous plaçons le robot dans une enceinte avec un haut-parleur et nous enregistrons son trajet en direction de ce dernier. Quand un son

à la fréquence de deux kilohertz est rythmé en syllabes de 300 millisecondes, séparées de silences de même durée, le robot zigzague dans sa direction selon un chemin sinueux, semblable à ceux que décrivent de vrais grillons. La longueur de ce chemin est toujours inférieure au double de la distance entre le point de départ et la source du son, le robot les contourne.

Quand le rythme des syllabes est plus rapide (syllabes et silences de moins de 200 millisecondes), le programme du robot ne distingue plus les



Dessin : Laurie Grace. Photographie : Jeff Foott, Bruce Coleman Inc.



3. LE GRILLON CAPTE LES SONS par les oreilles situées sur les deux pattes antérieures. Les sons atteignent les tympanes par deux voies distinctes : directement par les oreilles et à travers le réseau tubulaire du système respiratoire, qui s'ouvre sur le corps de l'insecte et communique avec les oreilles. Sur le tympan le plus proche

de la source sonore, le son qui arrive par voie externe parcourt une distance plus courte que le son qui arrive par voie interne. Cette différence déphase les deux ondes sonores, qui s'additionnent et amplifient la vibration du tympan : le chant apparaît plus fort de ce côté.