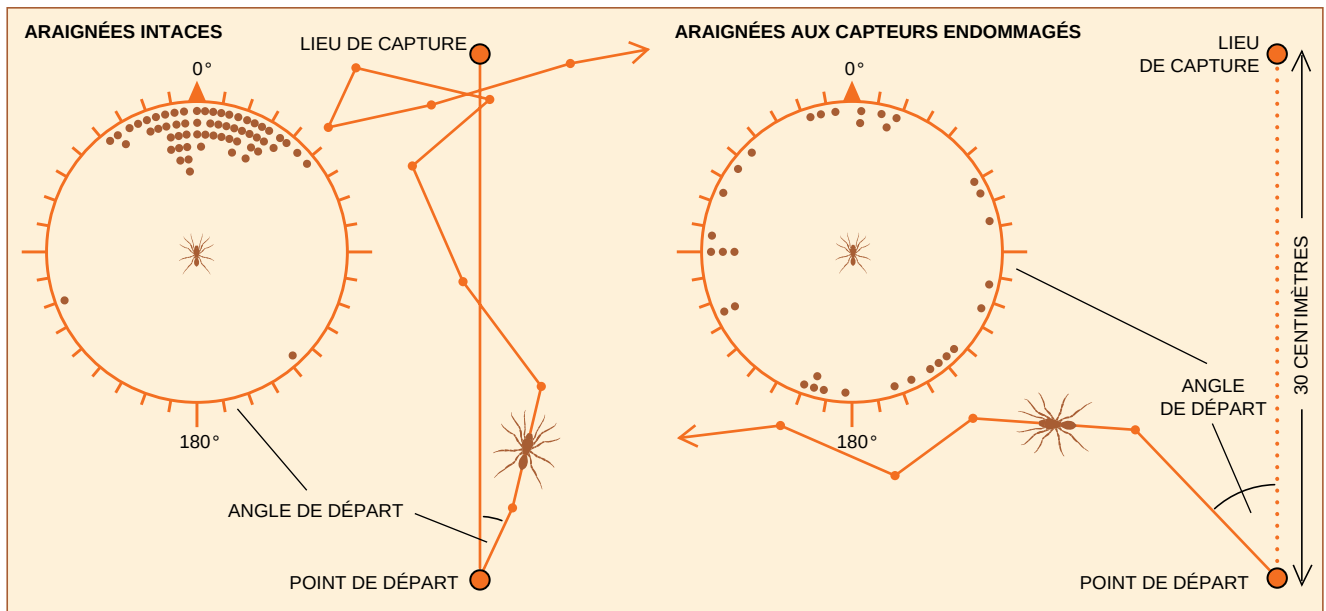




6. L'ARAIGNÉE CUPIENNIUS mémorise ses déplacements grâce à ses organes sensoriels en forme de fentes. Aveuglées, la plupart de ces araignées repartent dans la direction où elles avaient précédemment capturé une mouche (à gauche), même si elles progressent en zigzag. Les

points représentés sur le diagramme circulaire correspondent aux angles de départ. Au contraire, des araignées chez qui ces organes sensoriels sont endommagés repartent dans des directions aléatoires (à droite), le plus souvent sans jamais atteindre le point de capture.

sinueuse, elle ne retourne pas à son point de départ en suivant cette trajectoire, mais coupe les angles : elle a mémorisé l'emplacement de la mouche.

Cette mémorisation provient des jauges de contrainte, non des indications extérieures de type visuel, olfactif, ou liées à la pesanteur : quand on détruit les organes sensibles aux forces situés près des articulations des pattes, les araignées ne savent plus s'orienter ; elles partent dans de mauvaises directions, sont incapables de corriger leurs erreurs au cours du trajet et manquent finalement leur cible. L'absence des capteurs de force est pourtant leur seul handicap pour capturer la proie. En l'absence d'indications externes qui leur permettent de s'orienter, ces animaux nocturnes utilisent des informations relatives à leurs propres mouvements, que leur fournissent les détecteurs de contraintes.

L'étude des jauges de contrainte des arthropodes améliore notre connaissance de ces invertébrés, mais elle fournit aussi des indications importantes aux spécialistes de la robotique. Elle confirme, tout d'abord, que les ingénieurs ont sans doute choisi correctement la disposition du matériau conducteur des jauges artificielles : cette organisation en réseau ou en bandes adjacentes donne, comme chez les arthropodes, une sensibilité directionnelle, et une précision accrue par

la réalisation simultanée de plusieurs mesures.

En outre, plusieurs équipes d'ingénieurs tentent d'utiliser des réseaux de capteurs simples pour obtenir des comportements aussi complexes que ceux des arthropodes. Un robot aussi agile et aussi bien équilibré qu'un arthropode aurait de nombreux usages. Il serait adapté au déplacement sur des terrains accidentés où des véhicules à roues ne peuvent pas circuler. Aussi pourrait-il se déplacer dans des sites de stockage de déchets toxiques ou dans les cratères volcaniques de la Terre, sur la Lune ou sur Mars. La Marine américaine, notamment, voudrait mettre au point des robots ressemblant à des crabes qui partiraient des bateaux, atteindraient le rivage et rechercheraient des mines.

Une équipe de l'Université de Case Western Reserve a construit des robots à six pattes en s'inspirant du système nerveux des arthropodes : la commande des mouvements est répartie dans différents segments. Ces robots parviennent à marcher assez rapidement sur un réseau de lames largement espacées. Une telle conception remédie partiellement à des problèmes qui se posent avec la plupart des robots à plusieurs pattes : ceux-ci doivent, pour faire un pas, procéder à de laborieux calculs à partir de données fournies par de nombreux capteurs.

Les jauges de contrainte biologiques sont apparues chez les arthropodes il y a plus de 300 millions d'années : nous avons un certain retard à combler pour les utiliser aussi bien. Nous devons attendre encore un peu avant de voir des robots aussi perfectionnés que leurs modèles vivants.

Sasha ZILL est professeur à la Faculté de médecine de l'Université Marshall, à Huntington. Ernst-August SEYFARTH est professeur de zoologie et de neurosciences à l'Université de Francfort.

Sasha N. ZILL et David T. MORAN, *The Exoskeleton and Insect Proprioception*, in *Journal of Experimental Biology*, vol. 91, pp. 1-24 et 57-75, 1981.

Neurobiology of Arachnids, sous la direction de F.G. Barth, Springer-Verlag, 1985. F. LIBERSAT, F. CLARAC et S. ZILL, *Force-Sensitive Mechanoreceptors of the Dactyl of the Crab : Single-Unit Responses during Walking and Evaluation of Function*, in *Journal of Neurophysiology*, vol. 57, n° 5, pp. 1618-1637, mai 1987.

Biological Neural Networks in Invertebrate Neuroethology and Robotics, sous la direction de R.D. Beer, R.E. Ritzmann et T. McKenna, Academic Press, 1993.

Ernst-August SEYFARTH et Andrew S. FRENCH, *Intracellular Characterization of Identified Sensory Cells in a New Spider Mechanoreceptor Preparation*, in *Journal of Neurophysiology*, vol. 71, n° 4, pp. 1422-1427, avril 1994.

Caïmans et piranhas

Photographies :
Xavier Ferrer et Adolfo de Sostoa

Texte : Xavier Ferrer

La famille des Crocodiliens comporte 21 espèces vivantes. Parmi celles-ci, le caïman (*Caiman yacaré*) vit dans le Mato Grosso, au Brésil, et dans des zones adjacentes du Paraguay, de la Bolivie et de l'Argentine. Il peut atteindre trois mètres de long et se nourrit principalement de poissons. Sa nourriture favorite est le piranha (*Serrasalmus*), qu'il décime : c'est l'appétit du caïman qui détermine la taille de la population des piranhas. Ces poissons essentiellement carnivores enrichissent leur alimentation de fruits et de végétaux à certaines périodes de l'année.

L'étroite relation entre le caïman et le piranha a été étudiée à Corrientes, en Argentine, où la diminution des populations de caïmans résulte de la surpêche de poissons comestibles dont se nourrissent les piranhas.

La photographie n'est pas facile : après de longues heures d'observation à la jumelle, nous avons couru dans le marécage pour saisir l'instant propice où le caïman sort de l'eau tenant sa proie.





π en musique

JEAN-PHILIPPE FONTANILLE

Écoutez les décimales du nombre π .

La racine carrée du nombre deux fascinait les Pythagoriciens, qui découvraient là le premier nombre irrationnel ; puis on a cru que le nombre d'or contenait les canons de la beauté. π , rapport de la circonférence d'un cercle à son diamètre, est auréolé du même mystère. A-t-il vraiment des vertus esthétiques ? Compositeur et passionné de sciences, j'ai cherché la réponse dans le domaine musical. Le morceau intitulé *Harmonisation de π* , dont le début est donné ici, fait entendre les décimales de π . Quel mathématicien non prévenu les reconnaîtrait-il à l'audition du morceau ?

Comment est-il construit ? La gamme naturelle comportant sept degrés (*do, ré, mi, fa, sol, la, si*), j'ai d'abord écrit π en base sept. À cette fin, on considère d'abord le premier chiffre, 3, que l'on conserve. On soustrait 3 à π , puis on multiplie par sept ; on obtient 0,9911... Le premier chiffre étant 0, on conserve ce 0 comme première décimale en base sept. On multiplie alors 0,991... par sept, et l'on obtient 6,9379... : la deuxième décimale est 6. En poursuivant ainsi, on trouve l'écriture en base sept suivante : 3,066 365 143 203 613 411 026 340 224 465 222 664 352 065 024 015 544 321 542 643 102 51. De la sorte, on peut convertir toute décimale en une note, selon le code suivant : 0 pour *do*, 1 pour *ré*, 2 pour *mi*, 3 pour *fa*, 4 pour *sol*, 5 pour *la*, 6 pour *si*.

À ce stade, n'importe qui pourrait jouer les décimales de π sur un instrument, mais le résultat est musicalement limité. Une façon d'améliorer la musique des décimales consiste à utiliser chaque chiffre, non pour coder une seule note, mais un accord complet, dont cette note sera la fondamentale ; par exemple, 0 codera l'accord de *do* majeur (*do-mi-sol*) ou ses renversements, tel *mi-sol-do*. Pour des raisons que nous examinerons plus loin, le code a été choisi de la façon suivante : 0 pour *do* majeur, (*do-mi-sol-do*), 1 pour *ré* mineur (*ré-fa-la-ré*), 2 pour *mi* mineur (*mi-sol-si-mi*), 3 pour *fa* majeur (*fa-la-do-fa*), 4 pour *sol* majeur (*sol-si-ré-sol*), 5 pour *la* mineur (*la-do-mi-la*) et 6 pour *si* mineur (*si-ré-fa-si*).

Ce nouveau codage impose alors un véritable travail d'harmonisation, mais il reste le reflet fidèle des décimales de π . Bien que déposée comme telle, cette

œuvre n'est pas vraiment une composition, mais un arrangement sur des accords donnés, le travail artistique se limitant à choisir si ces accords seront majeurs ou mineurs, dièses ou bémols, selon le jeu des tonalités, ou à leur apporter d'éventuels enrichissements. Musicalement, l'irrationalité de π pose un problème : toute

composition musicale normale est fondée sur la répétition, l'alternance et le développement des thèmes. Ici, en revanche, ces procédés sont exclus, car les décimales sont réparties de façon aléatoire. C'est donc un parti pris que d'avoir limité l'œuvre aux premières décimales.

L'HARMONISATION

Examinons maintenant la réalisation dont les premières mesures sont proposées ici. C'est un extrait d'un morceau qui dure deux minutes et demie, pour guitare. Il se divise en quatre parties. Afin de donner au chiffre 3, à gauche de la virgule, une importance particulière, la note qui lui est associée (un *fa*) détermine non seulement le premier accord (un *fa*