

gros objet conducteur émergeant de l'eau. Elles réagissent alors par une attaque explosive. Ce comportement littéralement choquant m'est apparu lorsque j'ai tenté de capturer une grosse anguille à l'aide d'une épuisette dont le bord et la poignée étaient en métal. Elle s'est retournée et a bondi hors de l'eau tandis que sa mâchoire inférieure restait appuyée contre la poignée métallique et qu'elle émettait une longue série de décharges de forte tension (heureusement, je portais des gants de protection). C'est un comportement défensif que j'ai retrouvé chez toutes les anguilles électriques testées.

En analysant les phénomènes électriques qui ont accompagné le bond de mon anguille, de nombreuses pièces du puzzle biologique et historique se sont mises en place. Si les anguilles interprètent les petits objets conducteurs comme des proies comestibles, elles interprètent comme de gros animaux menaçants les grands objets conducteurs partiellement submergés qui s'approchent. *A priori*, elles pourraient fuir à la nage, mais il se trouve que pendant la saison sèche, elles se voient souvent piégées dans des mares à la portée de prédateurs tels que caïmans ou félins. Ajoutez à ce scénario le fait que les anguilles ne peuvent pas diriger leurs impulsions électriques et vous aurez la recette d'un étonnant mode de défense expliquant le récit de von Humboldt.

DES TESTS AVEC DES BRAS DE ZOMBIE

Pour en savoir plus, je me suis procuré des bras de zombie postiches, que l'on vend aux États-Unis lors des fêtes d'Halloween. Après en avoir retiré le faux sang, j'y ai placé des diodes électroluminescentes de façon à imiter le passage des voies nerveuses, puis j'ai présenté cette nouvelle cible à mes anguilles. Cela a déclenché des bonds défensifs, et les diodes ont d'autant plus clignoté que l'anguille s'élevait loin de l'eau. Comment expliquer cela ?

Répondre à cette question implique de déterminer le circuit électrique équivalent à l'ensemble gymnote + gros objet conducteur, afin de pouvoir déterminer la tension, ou force électromotrice, de l'organe électrique. Je devais également calculer la résistance électrique des matériaux du circuit. J'ai mesuré chaque variable successivement, en commençant par l'organe électrique de l'anguille. Longue d'un peu plus d'un mètre, la plus grosse anguille de mon laboratoire avait un potentiel électrique de 382 volts et une résistance interne de seulement 450 ohms, ce qui, en l'absence d'autres résistances, donne des intensités de courant de près de un ampère. Clairement, une anguille électrique est plus violente qu'un Taser !

Lorsque l'anguille bondit hors de l'eau en appuyant sa mâchoire inférieure contre une

TROIS ESPÈCES D'ANGUILLES ÉLECTRIQUES

Autour de David de Santana, de la Smithsonian Institution aux États-Unis, une équipe de chercheurs a étudié l'anatomie et l'ADN de 107 anguilles électriques capturées au Brésil, au Suriname, en Guyane française et au Guyana. Les résultats révèlent l'existence de trois populations génétiquement distinctes, donc de trois espèces au lieu d'une seule reconnue précédemment, *Electrophorus electricus*. Celle-ci vit au nord, principalement au Guyana et au Suriname ; *Electrophorus varii* est disséminé le long des basses terres amazoniennes jusqu'au nord du Brésil et en Guyane française ; et *Electrophorus voltaï* vit au sud du bassin amazonien, au Brésil.

Les chercheurs ont mis en évidence des différences anatomiques subtiles entre ces espèces, qui se seraient différenciées avec la séparation des trois populations, quand le grand bassin amazonien s'est formé il y a quelque 3 millions d'années. Ils ont aussi établi que *E. voltaï* peut produire des tensions de 860 volts, bien plus que les 650 volts cités jusqu'à présent pour les anguilles électriques. C'est un record absolu dans le monde vivant.

cible, le courant qui circule habituellement de la tête vers la queue s'affaiblit, car l'air, mauvais conducteur, tend à l'interrompre, de sorte que c'est le courant à travers la cible qui augmente. Cela explique les impressionnants bonds du gymnote : plus ils sont hauts, plus l'épaisseur d'air isolant la tête de la queue est grande, et plus l'intensité du courant dans la cible est importante.

Pour préciser les choses, j'ai dû résoudre un exercice de physique élémentaire : calculer le courant électrique dans un circuit comportant deux résistances en parallèle. Il fallait pour cela déterminer chacune de ces résistances. J'ai obtenu la première – celle du corps de l'anguille – en faisant attaquer des gymnotes une plaque métallique reliée à un voltmètre. L'autre résistance à déterminer était celle du bras postiche servant de cible. Après avoir précisé toutes les autres variables du problème, je suis parvenu à estimer la résistance électrique complexe s'établissant entre la mâchoire de l'anguille électrique, une cible vivante et l'eau baignant l'ensemble.

Je me suis aussi servi de mon propre bras afin de déterminer la dernière variable et de pouvoir tester les résultats de toutes les mesures précédentes. J'ai fait appel à une toute petite anguille présentant une force électromotrice de seulement 198 volts et une résistance interne de 960 ohms, et construit un dispositif capable de mesurer le courant à travers mon bras pendant l'attaque du gymnote. C'est ainsi que j'ai résolu l'exercice de physique que je m'étais posé et éprouvé dans ma chair à quel point les anguilles électriques sont efficaces quand elles attaquent... ■

BIBLIOGRAPHIE

C. David de Santana et al., **Unexpected species diversity in electric eels with a description of the strongest living bioelectricity generator**, *Nature Communications*, vol. 10, article 4000, 2019.

K. C. Catania, **Power transfer to a Human during an electric eel's shocking leap**, *Current Biology*, vol. 27(18), pp. 2887-2891, 2017.

K. C. Catania, **Electric eels use high-voltage to track fast-moving prey**, *Nature Communications*, vol. 6, article 8638, 2015.

K. C. Catania, **The shocking predatory strike of the electric eel**, *Science*, vol. 346, pp. 1231-1234, 2014.



L'ESSENTIEL

> Deux théories s'opposent sur la nature de la conscience : celle de « l'espace de travail neuronal global » et celle de « l'information intégrée ».

> L'une implique que les machines deviendront

conscientes lorsqu'elles auront des capacités suffisamment sophistiquées, l'autre non.

> Ces théories sont actuellement testées par une collaboration internationale.

L'AUTEUR



CHRISTOF KOCH
directeur scientifique et président
de l'institut Allen pour les sciences
du cerveau, à Seattle, aux États-Unis

Les machines peuvent-elles être conscientes?

Nul doute que les robots et ordinateurs deviendront de plus en plus « intelligents ». Mais auront-ils une subjectivité et un sentiment d'exister ? Cette question est autrement plus débattue.

Dans les décennies à venir, les progrès rapides des algorithmes d'apprentissage engendreront des machines d'une intelligence comparable à la nôtre. Capables de parler et de raisonner, elles auront leur place dans une myriade de domaines tels que l'économie, la politique et, inévitablement, la guerre. La naissance d'une véritable intelligence artificielle (IA) aura un impact profond sur l'avenir de l'humanité et conditionnera l'existence même d'un tel avenir.

Prenez par exemple la citation suivante : « Encore aujourd'hui, des recherches sont en cours pour mieux comprendre ce que les nouveaux programmes d'IA seront capables de faire, tout en restant dans les limites de l'intelligence d'aujourd'hui. La plupart des programmes d'IA actuellement programmés se limitent principalement à prendre des décisions simples ou à effectuer des opérations

simples sur des quantités relativement faibles de données. »

Peut-être avez-vous eu l'impression que quelque chose clochait dans ce paragraphe ? Cette citation est l'œuvre de GPT-2, un robot linguistique que j'ai testé l'été dernier. Développé par OpenAI, un institut basé à San Francisco qui promeut les IA « vertueuses », GPT-2 est un algorithme d'apprentissage fondé sur un réseau de neurones artificiels. Ses entrailles contiennent plus d'un milliard de connexions simulant des synapses, les points de jonction entre neurones.

IL NE COMPREND RIEN, ET POURTANT...

La tâche du réseau est apparemment stupide : confronté à un texte de départ arbitraire, il doit prédire le mot suivant. Il ne « comprend » pas les textes comme le ferait un humain. Mais durant sa phase d'apprentissage, il a dévoré des quantités astronomiques de textes – huit millions de pages ➤

