

façon dont les réseaux neuronaux récurrents traitent leurs entrées présente une certaine ressemblance avec la façon de fonctionner du cerveau. Les signaux qui se propagent parmi les neurones changent constamment à mesure que les entrées sensorielles sont traitées.

Un traitement dynamique

Les réseaux récurrents parviennent à prédire quel sera le mot suivant dans une phrase et peuvent ainsi produire une nouvelle séquence de mots, l'un après l'autre. Ils peuvent aussi s'atteler à des tâches plus complexes. Après avoir « lu » tous les mots d'une phrase, le réseau est à même de deviner le sens de la phrase entière. Un réseau récurrent distinct peut alors utiliser le traitement sémantique du premier réseau pour traduire la phrase dans une autre langue.

La recherche sur les réseaux neuronaux récurrents a connu sa propre période de stagnation à la fin des années 1990 et au début des années 2000. Mes propres travaux théoriques suggéraient qu'ils rencontreraient

des difficultés à apprendre à récupérer de l'information du passé lointain, à savoir les premiers éléments de la séquence en cours de traitement (un peu comme si vous essayiez de réciter les premières phrases d'un livre alors que vous venez d'atteindre la dernière page). Mais certains de ces problèmes ont été résolus grâce à des techniques consistant à stocker l'information de façon à ce qu'elle persiste durablement. Ces réseaux neuronaux utilisent la mémoire temporaire (mémoire cache) d'un ordinateur pour traiter des informations multiples et dispersées, comme des idées contenues dans différentes phrases réparties au fil d'un document.

Le retour en force des réseaux neuronaux à apprentissage profond après le long sommeil de l'intelligence artificielle n'est pas uniquement un triomphe technique. C'est aussi une leçon de sociologie des sciences. En particulier, il souligne la nécessité de soutenir des idées qui font fi du *statu quo* technologique et d'encourager la tenue d'un portefeuille de recherches diversifié, laissant de la place à des champs provisoirement passés de mode. ■

BIBLIOGRAPHIE

Y. LeCun *et al.*, **Deep learning**, *Nature*, vol. 521, pp. 436-444, 2015.

Y. Bengio *et al.*, **Representation learning: A review and new perspectives**, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35(8), pp. 1798-1828, 2013.

A. Krizhevsky *et al.*, **ImageNet classification with deep convolutional neural networks**, *26th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2012)*, 2012.

SUR LE WEB

Cours de Yann LeCun au Collège de France, 2015-2016 : <https://www.college-de-france.fr/site/yann-lecun/index.htm>

PARTEZ EN CROISIÈRE DANS LES MERS DU MÉSOZOÏQUE

avec le 2^e hors-série *Espèces*

En kiosque mi-juillet 2016



À la lumière des dernières découvertes, les plus grands spécialistes vous proposent d'aller à la rencontre des contemporains marins des dinosaures. Découvrez la faune extraordinaire qui a régné pendant 185 millions d'années sur les océans du Trias, Jurassique et Crétacé.

Sous la direction de Nathalie Bardet et Peggy Vincent (MNHN), reconstitutions de Camille Renversade.

Revue trimestrielle dédiée
aux sciences de la Vie et de la Terre
www.especies.org

84 pages – 8,90 €

Vente par correspondance www.bopresse.fr/especies.htm

Tél. 05 65 81 54 86 / contact@bopress.fr

Également disponible par abonnement, en PDF
et application smartphone/tablette

[f revue.Especies](https://www.facebook.com/revue.Especies)

[e http://especies-revue.blogspot.fr](http://especies-revue.blogspot.fr)

La frappe éclair



LES SQUILLES, OU CREVETTES-MANTES, sont des crustacés dotés d'appendices « ravisseurs », c'est-à-dire spécialisés pour la capture de proies. Cette squille multicolore (*Odontodactylus scyllarus*) arbore une paire d'appendices en marteau au moyen desquels elle brise les coquilles d'escargots marins.

de la crevette-mante

Sheila Patek

Dans le monde vivant, ce ne sont pas les guépards ou les poissons qui détiennent les records de vitesse ou d'accélération. Les crevettes-mantes, les cellules urticantes des méduses ou les mandibules de certaines fourmis font bien mieux. Parfois sans muscles !

L'ESSENTIEL

- Certains crustacés assènent avec leurs appendices des coups fulgurants, assez puissants pour fracasser des escargots marins.
- Ces frappes ultrarapides mettent en œuvre l'accumulation relativement lente d'énergie élastique, puis son relâchement brusque.
- De tels mécanismes se rencontrent chez quelques autres organismes.
- Des limitations qui leur sont inhérentes expliquent pourquoi ils ne sont pas plus répandus.

© Shin Okamoto/Shutterstock.com

Il y a une dizaine d'années, quand j'étais postdoctorante dans le laboratoire de Roy Caldwell, à l'université de Californie à Berkeley, j'ai commencé à étudier la squille multicolore (*Odontodactylus scyllarus*), nommée aussi crevette-mante paon. C'est un crustacé prédateur qui fracasse les escargots marins au moyen d'un appendice en forme de marteau.

Son comportement était fascinant à observer. La squille palpe l'escargot, le fait tourner en tous sens et le met en position. Juste avant de lui porter un coup, elle touche la surface de sa coquille avec ses antennules, peut-être pour se faire une idée de la position et de la surface de sa cible. Après ce qui pourrait se comparer chez les humains à une grande inspiration avant un plongeon, la crevette-mante frappe. Le coup lui-même est trop rapide pour être distingué à l'œil nu, mais on entend un fort claquement, et des débris de coquille apparaissent sur le substrat.

Et le cycle recommence : palpation, manipulation, positionnement, toucher, « inspiration », et un autre coup invisible mais bien audible. Quand le mollusque est dépouillé de sa coquille et que la crevette-mante peut enfin le déguster, le silence s'installe dans l'aquarium.

En fait, j'étais témoin de l'un des mouvements les plus rapides du monde vivant. Après une difficile quête pour accéder à un système d'imagerie rapide, j'ai enfin pu filmer au ralenti les coups de la squille. Les images étaient si extraordinaires que j'ai immédiatement su que nous étions tombés un peu par hasard sur un phénomène tout à fait hors norme. Les mouvements s'étendaient sur quelques images seulement, alors que

nous filmions à 5 000 images par seconde, ce qui témoignait de vitesses et d'accélération extrêmes. Et j'ai vite compris que dans le monde vivant, les mouvements les plus rapides ne sont pas la course des guépards, le clignement des yeux ou la fuite des poissons. On les trouve chez de petites créatures méconnues qui ont maîtrisé l'un des grands défis de la physique et de l'ingénierie : la production d'une puissance extrême.

Au fil des années suivantes que j'ai consacrées aux systèmes biologiques ultrarapides, ce domaine de recherche émergeant a livré de nombreuses et surprenantes informations à l'interface de la biologie, de la physique et de l'ingénierie. Le monde du vivant ultrarapide est peuplé d'organismes extraordinaires tels que des fourmis à mandibules-pièges (du genre *Odontomachus*), des champignons à spores autopropulsées, des termites à mandibules balistiques (*Termes panamensis*), des méduses urticantes...

L'organisme ultrarapide le plus étudié

La crevette-mante est dans ce domaine l'organisme qui a été le plus étudié. Elle constitue aujourd'hui un modèle clé pour explorer l'histoire évolutive de l'armement extrême, les compromis mécaniques et évolutifs accompagnant les mouvements extrêmes, et les applications techniques de ces découvertes biologiques.

L'analyse des premières images à grande vitesse de la crevette-mante en

L'AUTEURE



Sheila N. PATEK est maître de conférences au département de biologie de l'université Duke, aux États-Unis. Ses recherches sont à l'interface de la physique et de la théorie de l'évolution (systèmes ultrarapides et acoustique des invertébrés).

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

LORSQU'UNE SQUILLE FRAPPE un escargot marin à l'aide d'un de ses appendices en forme de marteau, le mouvement est si rapide qu'il est invisible à l'œil nu. Le coup ne dure que quelques millièmes de seconde.



© Avec l'aimable autorisation de Roy Caldwell

train d'écraser le malheureux escargot a montré que les mouvements étaient beaucoup plus rapides que tout ce que nous avons pu imaginer. Les pièces buccales en forme de marteau de ces crustacés, nommées appendices ravisseurs, subissent une accélération semblable à celle d'une balle de fusil (100 000 mètres par seconde carrée) et atteignent des vitesses de 31 mètres par seconde, soit plus de 110 kilomètres par heure.

Le coup est si bref qu'il pourrait y en avoir plus d'une centaine dans l'intervalle de temps que dure un clin d'œil. Un humain aurait besoin d'un solide marteau pour casser les mêmes escargots, alors que ces crustacés longs de quelques centimètres les brisent avec des appendices ravisseurs plus petits que le doigt d'un bébé.

Une question de puissance, pas d'énergie

Dès qu'il est question de mouvement animal, le rôle des muscles vient à l'esprit. Or ces organes ne suffisent pas pour expliquer les coups de la crevette-mante. Une analogie simple permet de comprendre pourquoi.

Imaginez que vous jetez une flèche sur une cible en n'utilisant que les muscles de vos bras. La flèche n'irait ni très loin ni très vite. Mais si vous vous servez des mêmes muscles pour bander un arc, puis que vos doigts libèrent la flèche, celle-ci atteint facilement la cible et la transperce. Or l'énergie investie est la même, que l'on utilise un arc ou non. L'unique différence est la durée sur laquelle l'énergie est libérée. Avec les seuls muscles du bras, l'énergie est libérée en un temps relativement long. Avec l'arc, l'énergie se libère sur une durée extrêmement courte. Il en résulte une amplification de la puissance, clé de tous les mouvements ultrarapides.

La puissance est définie comme le rapport énergie / temps. Si, à énergie constante, la durée diminue, alors la puissance augmente. Comme dans l'exemple de l'arc et de la flèche, les appendices ravisseurs de la squille multicolore contiennent un « ressort » et une « gâchette » grâce auxquels la puissance est fortement amplifiée. Le mécanisme en jeu n'est qu'une amélioration des contractions classiques de muscles antagonistes caractérisant les systèmes moteurs de la plupart des animaux. À l'instar de nos bras ou jambes actionnés par des paires de muscles extenseurs et