

et celles engendrées par l'implosion de la bulle de cavitation. Nous avons ainsi mis en évidence que chaque coup de marteau de la squille est double: il y a d'une part l'impact mécanique, d'autre part l'impact des ondes de pression dues à l'implosion de la bulle de cavitation. Les forces atteignent 400 à 1 500 newtons pour l'impact mécanique, et les forces de cavitation 500 newtons.

Un appendice qui tient le choc

Les puissants assauts de la squille contre les coquillages marins sont associés à un risque non négligeable pour le crustacé d'endommager son propre appendice. De fait, les coquilles d'escargots marins sont considérées comme l'un des matériaux biologiques les plus solides, et pourtant la squille parvient à les briser sans abîmer ses propres appendices.

Intrigués par cette capacité peu commune, David Kisailus, de l'université de Californie à Riverside, et ses collègues

ont révélé la composition matérielle et l'arrangement structural du marteau qui rend possible cette remarquable performance. Ces chercheurs ont découvert que la couche externe du marteau est très dure et fortement minéralisée, principalement composée de phosphore concentré (par exemple du phosphate de calcium) et du matériau habituel des crustacés, le carbonate de calcium. Au sein du marteau, les matériaux sont disposés en couches successives, dont l'orientation tourne, architecture qui a pour effet de dissiper l'énergie et de concentrer les microfissures à l'intérieur de la structure plutôt qu'à sa surface.

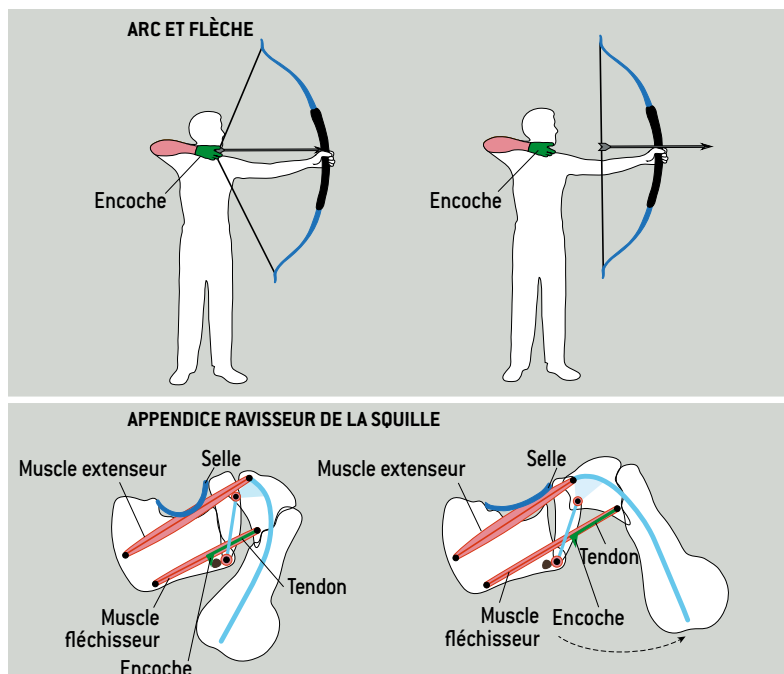
Ces découvertes des principes structuraux de l'atténuation des fractures d'impact dans les appendices de la squille ont déjà inspiré de nouveaux matériaux résistants aux impacts. Toujours dans l'équipe de David Kisailus, des chercheurs ont utilisé de petits morceaux de matériaux à base de fibres de carbone et époxy et les ont façonnés en un arrangement hélicoïdal semblable à l'architecture du marteau de la squille. Ils ont alors testé la résistance à l'impact et à la fatigue du nouveau matériau, comparé au marteau de la squille à des échelles de taille similaires. À terme, on pourrait utiliser les matériaux inspirés par les squilles dans des systèmes de protection alliant légèreté et résistance à des impacts d'objets rapides.

Le coup de marteau à un coût

En toute logique, tous les organismes auraient intérêt à avoir des capacités cinématiques extrêmes. Pourtant, les scientifiques ne connaissent qu'une poignée d'organismes ultrarapides. Une première explication à cela est tout bonnement que nous ne les avons pas encore tous découverts, entre autres parce que les mouvements ultrarapides sont invisibles à l'œil nu. Avant de filmer les squilles à l'aide de caméras à haute vitesse, nous n'avions aucune idée de leur rapidité réelle.

Les découvertes réalisées sur la squille nous ont poussés à rechercher d'autres organismes ultrarapides, ce qui a conduit aux études sur les fourmis à mâchoires-pièges, ainsi que sur le lancement quasi invisible de spores par certains champignons. Mais il est également probable qu'un ensemble de compromis guident et limitent la diversification

DE L'ÉNERGIE LIBÉRÉE BRUTALEMENT



Les mouvements ultrarapides tels que celui de l'appendice des squilles frappeuses reposent sur un mécanisme de type ressort, un peu comme un arc et une flèche. Un système élastique (*en bleu foncé*) – la selle chez la squille – emmagasine de l'énergie potentielle. Cette dernière est libérée en un temps très court par un mécanisme de type gâchette ou verrou (*en vert*) – dans le cas de la squille, une encoche située sur le tendon du muscle fléchisseur est débloquée.

biologique, et que les systèmes ultrarapides soient en contrepartie soumis à des limitations importantes.

Une première indication des limitations imposées aux systèmes ultrarapides est apparue quand nous avons décidé de filmer un autre type de squilles que les espèces à marteau de nos études initiales. L'arbre phylogénétique des squilles révèle en effet que les espèces frappeuses, munies d'un marteau, sont peu nombreuses. La grande majorité des espèces de squilles sont des ravisseuses : leur appendice ravisseur est allongé, en forme de lance ou de harpon mais dépourvu de marteau, et sert à transpercer de petites proies. D'après les analyses moléculaires et fossiles, les squilles frappeuses sont apparues à partir des squilles ravisseuses il y a environ 50 millions d'années.

Après avoir mesuré les étonnantes vitesses des squilles frappeuses, Maya deVries, aujourd'hui à l'institut d'océanographie Scripps en Californie, et moi pensions que nous allions découvrir une cinématique encore plus impressionnante chez les ravisseuses. Il n'en est rien : les ravisseuses ont des mouvements n'atteignant qu'une fraction des vitesses et accélérations des frappeuses.

La découverte que les crevettes-mantes ravisseuses, qui se nourrissent de petits poissons, ont des mouvements bien plus lents que les frappeuses allait à l'encontre de l'intuition ; nous nous attendions en effet à ce que les animaux dotés des armes les plus rapides soient ceux qui chassent les proies les plus rapides. En réalité, en examinant les habitudes des animaux ultrarapides, nous avons constaté que la plupart ne ciblent pas des proies rapides. Ils visent plutôt des proies bien protégées à coquille dure, qui ne s'échappent généralement pas quand elles sont attaquées. S'ils disposent d'une machinerie biologique capable d'attraper des proies qui sautent ou qui nagent, pourquoi les

animaux ultrarapides ne chassent-ils pas des proies qui fuient ?

Un inconvénient majeur des systèmes ultrarapides est la perte de contrôle de l'arme une fois que le coup est parti. Par exemple, lorsqu'on se sert d'un arc et de

Inconvénient majeur des systèmes ultrarapides : la perte de contrôle de l'arme une fois le coup parti

flèches pour chasser, la flèche est préparée et pointée, mais une fois qu'elle est décochée, l'archer ne peut plus ajuster sa trajectoire et le projectile n'atteindra sa cible que si la proie est restée immobile. Les animaux ultrarapides vont si vite que leurs neurones ne peuvent ni suivre ni modifier le mouvement une fois qu'il est déclenché.

Dans une analyse de l'activité musculaire précédant le mouvement ultrarapide, l'un de mes postdoctorants, Katsushi Kagaya (aujourd'hui au laboratoire Seto de biologie marine, au Japon), a montré que la squille fait varier sa vitesse de frappe en modifiant



LES SQUILLES RAVISSEUSES,

ici *Lysiosquilla sulcata*, sont des prédateurs qui harponnent des poissons au déplacement rapide. Bien que leurs proies soient plus rapides que les escargots, leurs appendices bougent à une vitesse et avec une accélération très inférieures à celles des crevettes-mantes briseuses d'escargots. Cela traduit le nécessaire compromis entre la rapidité de la préparation du coup et sa puissance.

© Avec l'autorisation de Roy Caldwell