

IDÉES DE PHYSIQUE

La merveilleuse langue du caméléon

Avec sa langue télescopique, le caméléon capture une proie en un clin d'œil. Une prouesse qui tient notamment au stockage d'énergie élastique et au phénomène d'adhésion visqueuse.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Projecter une langue près de deux fois plus longue que sa propre taille en un $1/25^{\text{e}}$ de seconde, saisir fermement une proie qui peut atteindre le tiers de sa propre masse et la ramener dans sa bouche en l'espace d'une demi-seconde : telle est la prouesse du caméléon. Cet exploit n'a pas cessé d'intriguer les chercheurs, qui ont peu à peu compris quels sont les mécanismes physiques mis en œuvre.

Catapulte télescopique

Tout part d'un paradoxe anatomique. Pour atteindre sa vitesse, de l'ordre de 6 mètres par seconde, l'extrémité de la langue du caméléon doit subir une accélération environ 50 fois supérieure à celle de la pesanteur. La puissance requise est de 3 watts par gramme de muscle employé, beaucoup plus que celle déployée par les autres animaux vertébrés. Un mécanisme plus subtil que la simple contraction musculaire est donc nécessaire. En 2004, des chercheurs néerlandais ont suggéré que la langue du caméléon se comporte comme une catapulte, où l'énergie est progressivement stockée avant d'être rapidement libérée.

Première particularité du caméléon, sa langue est constituée de tissus mous qui s'appuient sur une structure osseuse articulée. Avant la projection de la langue, cette structure pivote et fait sortir de la bouche le « processus entoglosse », un os

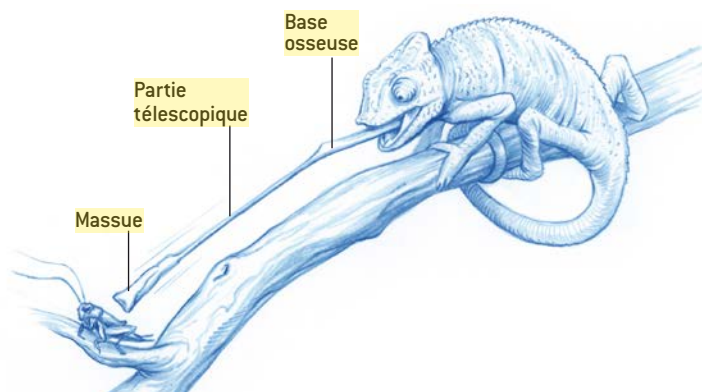
de la taille d'une allumette sur lequel la langue est enfilée comme une chaussette.

La langue elle-même est un organe complexe. Son extrémité comporte une série de gaines emboîtées, en fibres de collagène, et capables de glisser les unes sur les autres pour se déployer de façon télescopique. Ces gaines sont entourées par le muscle accélérateur et rattachées au muscle rétracteur, situé en amont et enfilé lui aussi sur l'os [voir la figure page 88, en haut].

Que se passe-t-il lorsque le muscle accélérateur se comprime autour de l'os ? Comme le muscle rétracteur l'empêche de glisser vers l'arrière, il s'allonge vers l'extrémité de l'os au bout de la langue. Ce faisant,

il entraîne avec lui les gaines de fibres de collagène et les met sous tension. Le travail de contraction du muscle est ainsi converti en énergie élastique dans les fibres. Lorsque l'extension longitudinale du muscle atteint le bout effilé de l'entoglosse, les tissus de collagène se mettent à glisser dessus et, en l'absence d'os central, se détendent radialement. Leur énergie élastique est alors convertie en énergie cinétique.

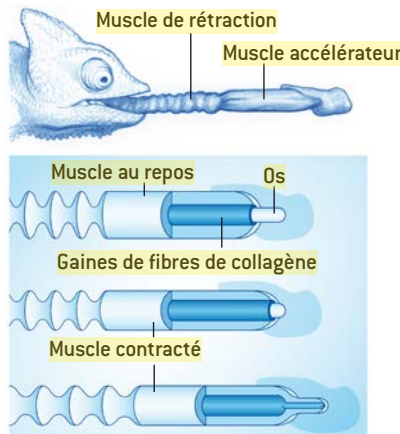
Au niveau de l'extrémité effilée et conique de l'os, cette brutale détente crée une poussée longitudinale, responsable de l'accélération des tissus de la langue. Celle-ci est alors propulsée en avant et l'accordéon du muscle rétracteur, totalement relâché, se déploie complètement. Les



LA LANGUE DU CAMÉLÉON SE PROJETTE À GRANDE VITESSE sur la proie, dont la distance a été préalablement évaluée par le reptile grâce à ses deux yeux orientables indépendamment. Anatomiquement complexe, cette langue comporte une base osseuse, enveloppée par des tissus mous formés notamment de muscles et de gaines télescopiques de collagène.

Dessins de Bruno Vacaro

LA PROJECTION DE LA LANGUE commence par la contraction du muscle accélérateur, qui met en tension les gaines de fibres de collagène entourant l'os. Quand, sous l'effet de la contraction, ce système s'est allongé au point d'atteindre l'extrémité conique de l'os, l'énergie élastique emmagasinée par les gaines de collagène se relâche d'un coup en direction de l'axe central, ce qui pousse fortement les gaines vers l'avant.



accélérations de la langue sont telles que la pesanteur ne joue pas de rôle : la langue s'allonge tout droit, jusqu'à frapper sa cible avant que celle-ci ne s'aperçoive de quoi que ce soit.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURT et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique

Une langue bien gluante

Atteindre la proie n'est pas tout, il faut aussi la ramener vers la bouche. Comment ? Le caméléon doit, avant d'actionner le muscle rétracteur, bien saisir l'insecte avec le bout de sa langue. Lorsque l'axe central, tendu et ferme, de la langue atteint la cible, cette partie cesse immédiatement de progresser tandis que les tissus mous qui l'entourent continuent à avancer et enveloppent en par-

tie la proie. La surface de contact entre cette dernière et la langue est ainsi optimisée.

Mais qu'est-ce qui assure la prise ? On invoque différents mécanismes. Le premier relève d'un simple effet velcro. La langue est recouverte de papilles qui lui confèrent de la rugosité : elle épouse ainsi les irrégularités de la surface de la proie et la rétraction de la langue verrouille ces accroches. Le deuxième mécanisme s'apparente plutôt à l'effet ventouse. Lorsque le caméléon propulse sa langue, la massue qui termine celle-ci est convexe, mais on a découvert que pendant le trajet et juste avant l'impact, les muscles du centre de la langue se rétractent, de sorte que la massue devient concave et crée ainsi une dépression.

Pour quantifier la succion qui en résulte, des chercheurs ont étudié en 2000 la force qu'exerçait un caméléon endormi, mais dont la langue était stimulée électriquement, sur une paille de verre, selon que cette dernière était ouverte ou fermée à l'autre extrémité. Ils ont mis en évidence une force nettement plus importante sur la paille fermée, où la pression à l'intérieur peut diminuer comme dans une ventouse, que sur la paille ouverte, à pression atmosphérique.

Ce n'est pas la fin de l'histoire : en 2016, une équipe franco-belge a revu à la hausse la contribution d'un autre mécanisme, l'adhésion visqueuse, dite encore adhésion de Stefan, du nom du physicien slovène qui l'a identifié en 1874.

Imaginons un film d'eau qui baigne l'interstice entre deux plaques que l'on tente de séparer en tirant dessus, par exemple un objet à base plate sur une surface mouillée. Cette séparation va provoquer un écoulement d'eau dans l'espace interstitiel afin qu'il demeure rempli de liquide. L'eau, soumise à de fortes contraintes, acquiert de la vitesse selon l'axe perpendiculaire aux plaques, mais aussi dans le plan qui leur est parallèle. En raison de la viscosité du liquide, c'est-à-dire de la friction entre ses différentes couches en écoulement, une résistance à la traction apparaît. Cette force d'adhésion visqueuse est directement proportionnelle à la viscosité du liquide et à la vitesse de séparation des plaques.

LA SAISIE DE LA PROIE résulte d'un effet de succion exercé par la langue, mais aussi et surtout d'un phénomène d'adhésion visqueuse. La langue est recouverte d'un mucus très visqueux. Lors de son retrait, la traction exercée sur le film de mucus y engendre des écoulements qui, en raison de la viscosité, créent une résistance à la traction, donc une force d'adhésion.

