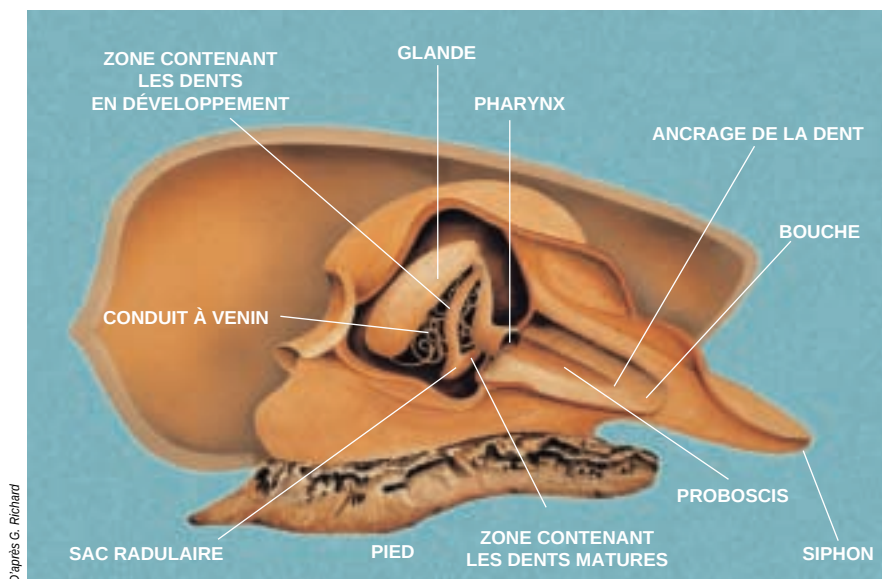




D'après G. Richard

2. L'APPAREIL VENIMEUX des cônes est constitué de quatre organes principaux : la glande, le conduit à venin, le sac radulaire et le complexe pharynx-proboscis. La glande fonctionne vraisemblablement comme une pompe, favorisant, par ses contractions, l'éjection du venin dans la dent radulaire. Le conduit à venin, élaborant la sécrétion venimeuse, est un long tube pelotonné. Les dents radulaires sont stockées dans le sac radulaire qui contient un paquet de plusieurs dizaines de dents disposées en deux rangées parallèles. Les dents se forment dans la branche la plus longue, où elles existent à différents stades de leur développement. Elles sont d'abord très flexibles, puis durcissent lors de leur migration vers la branche la plus courte. Cette autre branche débouche dans le pharynx en avant du conduit à venin ; elle contient les dents achevées dont la pointe est dirigée vers l'ouverture du pharynx. Au début de la capture, une dent se remplit de venin lorsqu'elle passe dans le pharynx ; le proboscis s'en saisit.

500 espèces, les vermivores sont les plus abondants.

L'appareil venimeux des cônes se compose d'une glande qui se prolonge par un long canal, le conduit à venin. Ce conduit et le sac radulaire débouchent dans le pharynx. Le sac radulaire contient les dents radulaires à différents stades de leur développement. Le proboscis, un organe de quelques millimètres au repos, prolonge le pharynx. Il est entouré de la bouche, encadrée par deux tentacules portant chacun un œil à l'extrémité d'un pédoncule.

Quand l'animal veut capturer une proie, une dent radulaire se place dans le pharynx. La glande se contracte, et le venin emplit la dent. Le proboscis s'invagine pour la saisir et l'ancrer à son extrémité. Il s'allonge considérablement et, au moment opportun, il est brusquement et violemment projeté pour enfoncer la dent dans la proie. Le liquide venimeux contenu dans la dent s'écoule dans les tissus de la proie.

Cette dent reste plantée dans la proie et n'est pas récupérée par l'animal ; elle sera remplacée par une autre dent dans le pharynx. La proie est ingérée par la bouche qui s'élargit notablement. Toutes les espèces de cônes utilisent ce système d'envenimation, mais, comme

nous le verrons, les stratégies d'envenimation et la morphologie des dents varient selon les espèces.

Les cônes utilisent également leur appareil venimeux à des fins défensives. S'ils sont tous dangereux pour l'homme, seule la piqûre de certains d'entre eux déclenche de vives douleurs et entraîne, parfois, la mort. Les envenimations sont plus ou moins graves selon l'espèce du cône et la quantité de venin injectée. Tous les cônes piscivores sont une menace pour l'homme, car leurs toxines sont actives sur les vertébrés ; *Conus geographus* est l'espèce la plus dangereuse, infligeant des piqûres mortelles. Un autre cône, *Conus textile*, bien qu'il se nourrisse de mollusques, est parfois dangereux : dès 1705, le naturaliste hollandais Rumphius signale le décès d'une indigène de l'île de Banda, dans l'archipel des Moluques, à la suite d'une piqûre par un spécimen de ce cône. Certains cônes vermivores, notamment les plus grands d'entre eux, représentent un danger par la quantité de venin injectée. Les réactions ne sont, généralement, que des inflammations. Des petits cônes vermivores, tel que *Conus pulicarius*, font des piqûres nécosantes comparables à celles des abeilles.

Un médecin de Ponérihoun, en Nouvelle-Calédonie, raconte que, «le 16 septembre 1963, vers 11 heures 30, une fillette âgée de neuf ans, en parfaite santé, pêchait des coquillages en compagnie de deux camarades sur le récif situé au niveau de la tribu de Paama-Poindimié. Alors qu'elle avait ramassé un *Conus geographus*, elle ressentit une douleur assez vive au niveau de la main. Elle jeta le coquillage, avisant ses camarades qu'elle venait d'être piquée. Immédiatement, elle présenta aux points de la piqûre une macule érythémateuse accompagnée d'un léger œdème et, après quelques minutes, une syncope de courte durée, suivie de phases de convulsions avec des secousses musculaires très importantes. La mort survint environ 40 minutes après la piqûre venimeuse. L'examen de la victime n'a rien révélé de particulier, si ce n'est l'existence de trois petites tâches noires à l'endroit de la piqûre».

Les stratégies d'envenimation

Avec Jean-Louis Menou et Pierre Laboute, plongeurs de l'IRD et de la Marine nationale, nous avons observé, aux îles Chesterfield, entre l'Australie et la Nouvelle-Calédonie, le comportement de certaines cônes piscivores, malacophages et vermivores. Les plongées ont le plus souvent lieu à la tombée de la nuit, moment choisi par les mollusques pour chasser.

Il suffit de quelques secondes à *Conus consors*, une espèce piscivore, enfouie sous le sable, pour repérer sa proie, déployer son proboscis, armer une dent radulaire, projeter son proboscis, enfoncer la dent dans la proie et la gober ; la digestion durera plusieurs heures. Dès 1956, Alan Kohn, de l'Université de Washington, avait décrit la stratégie utilisée par *Conus striatus* et *Conus magus*, la même que celle de *Conus consors*. Tous ces cônes qui paralysent leurs proies avant de les ingérer utilisent la «pêche au harpon».

Conus geographus, une autre espèce piscivore, a adopté une tout autre stratégie : ce cône ouvre sa bouche, dont le diamètre atteint plusieurs centimètres, et l'utilise comme un filet pour piéger un ou plusieurs poissons. Le cône n'envenime les poissons qu'après les avoir capturés. Cette stratégie, également utilisée par *Conus tulipa*, est nommée la «pêche au filet». Nous avons aussi observé le comportement

de *Conus textile*, un cône qui se nourrit essentiellement de strombes, des mollusques sauteurs. Après avoir injecté une première dent radulaire dans le pied de la proie, le cône la libère de l'extrémité de son proboscis et en injecte une autre, quelques secondes après. Ce procédé est répété plusieurs fois jusqu'à ce que le strombe soit paralysé. Les cônes vermivores utilisent également plusieurs dents radulaires pour lacérer les vers et les couper en morceaux, ce qui en facilite l'ingestion.

Ces différentes stratégies d'envenimation nous ont conduits à étudier la morphologie des dents radulaires et leurs fonctions. Quel que soit le régime alimentaire, elles transpercent la proie et injectent le venin dans la plaie. Toutefois, la morphologie des dents radulaires est liée au régime alimentaire et à la stratégie d'envenimation adoptée. Les dents des cônes qui pêchent au harpon sont caractérisées par la présence d'un long harpon dont l'extrémité est incurvée ; après s'être ancrées dans les tissus de la proie, elles permettent aux cônes d'injecter le venin et de rapporter la proie vers la bouche.

Contrairement aux serpents, les cônes se déplacent lentement sur leur terrain de chasse. Malgré ce handicap, certains d'entre eux se nourrissent exclusivement de petits poissons qu'ils chassent à l'affût. La principale fonction du venin des cônes piscivores est donc d'immobiliser la proie. De même, le venin des cônes malacophages paralyse le pied des mollusques avant qu'ils ne se rétractent dans leur coquille. Cette nécessité d'immobiliser une proie a favorisé, au cours de l'évolution, la sélection de petites protéines (des peptides de 10 à 40 acides aminés), les conotoxines, qui agissent sur le système nerveux central et/ou périphérique. Le succès de la prédation est assuré, comme nous allons l'expliquer, par la combinaison de plusieurs conotoxines.

Les jonctions neuromusculaires, les zones de contact entre les ramifications des nerfs et les fibres musculaires sont les cibles les plus vulnérables et les plus exposées aux venins de cônes. Elles forment des synapses dont

la terminaison nerveuse est l'élément présynaptique et la fibre musculaire l'élément postsynaptique (voir la figure 4). La plupart des conotoxines perturbent la transmission neuromusculaire en agissant sur la terminaison nerveuse ou sur la fibre musculaire.

Pêche au harpon et paralysie rigide

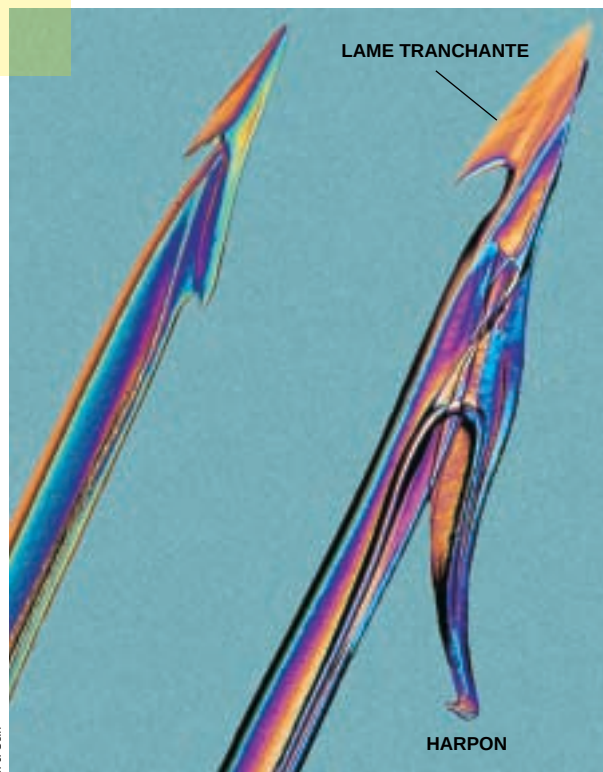
Lorsqu'un influx nerveux (potentiel d'action) propagé par un axone arrive à la terminaison nerveuse, celle-ci se dépolarise (une dépolarisation est une perturbation de la différence de potentiel qui règne de part et d'autre de la membrane cellulaire). Cette dépolarisation entraîne l'ouverture transitoire des canaux calcium présynaptiques. L'entrée d'ions calcium dans la terminaison déclenche l'arrimage, puis la fusion, des vésicules contenant de l'acétylcholine (un neuromédiateur) avec la membrane présynaptique. De l'acétylcholine est libérée dans la fente synaptique, et certaines molécules se fixent

sur leurs récepteurs localisés sur la fibre musculaire. Ces récepteurs-canaux sont aussi nommés récepteurs nicotiniques, car la nicotine s'y fixe également. Cette interaction entraîne un changement de conformation de ces récepteurs, qui s'ouvrent, laissant passer simultanément des ions sodium et potassium et, dans une moindre mesure, des ions calcium. Le changement de conductance électrique qui en résulte provoque une dépolarisation locale ; lorsque le seuil d'excitabilité électrique de la fibre musculaire est atteint, des canaux ioniques, localisés sur le muscle squelettique, s'ouvrent. Cette ouverture engendre un potentiel d'action qui se propage le long de la fibre musculaire et active la machinerie de la contraction (voir la figure 4). L'ouverture des canaux qui participent à la transmission neuromusculaire est transitoire ; ainsi, un potentiel d'action qui se propage le long d'un axone donne une seule contraction musculaire.

Baldomero Olivera, de l'Université de l'Utah, a montré que le venin du

cône *Conus purpurascens*, un cône qui pêche au harpon, déclenche deux symptômes lorsqu'il est injecté à un poisson : une paralysie rigide et une paralysie flasque. Le premier effet physiologique, la paralysie rigide, encore nommée choc excitotoxique, se caractérise par une tétanie et est assuré par la combinaison d'au moins deux conotoxines, la δ -P₆A et la κ -P₇A. La première (δ -P₆A) agit sur les canaux sodium et la seconde (κ -P₇A) sur les canaux potassium.

La conotoxine δ -P₆A se fixe sur les canaux sodium présynaptiques et en empêche la fermeture. À la jonction neuromusculaire, cette action se manifeste par une forte entrée d'ions sodium dans la terminaison et, par conséquent, par une dépolarisation prolongée de la membrane présynaptique, c'est-à-dire par une augmentation de l'excitabilité membranaire. Or, c'est une dépolarisation de la terminaison nerveuse qui aboutit à l'ouverture des canaux calcium déclenchant la cascade des événements qui aboutissent à la contraction musculaire. La dépolarisation maintenue, sous



3. LES DENTS RADULAIRES sont creuses et ouvertes à leurs deux extrémités, ce qui permet au venin de s'y accumuler et de s'écouler dans la plaie. Longues de quelques dixièmes de millimètre à plus de 20 millimètres, ces dents lacèrent les proies avec la lame tranchante de leur sommet. Elles sont maintenues à l'extrémité du proboscis pendant que la proie est transpercée et ingérée. Les dents radulaires des espèces vermivores et malacophages (par exemple, celles de *Conus textile*, à gauche) sont moins élaborées que celles des espèces piscivores qui « pêchent au harpon », tel *Conus striatus* : leurs dents (à droite) sont pourvues d'un long harpon dont l'extrémité peut être incurvée.