

plus de points en moyenne en acceptant d'être battu. La stratégie *Méchante* (qui joue toujours *t*) bat toute autre stratégie (c'est une évidence) ; par exemple, sur une partie de 100 coups contre *Donnant-donnant*, elle obtient 104 points, alors que *Donnant-donnant* en gagne 99. La stratégie *Gentille* (qui joue toujours *c*) ne bat pas *Donnant-donnant* et gagne 300 points en 100 coups contre *Donnant-donnant*, laquelle gagne aussi 300 points. Contre *Donnant-donnant*, *Méchante* gagne peut-être, mais elle a tort de gagner car en faisant comme *Gentille*, elle obtiendrait un bien meilleur score.

Mieux vaut s'entendre avec son adversaire

La plupart des ZD-stratégies sont un peu dans la même situation : elles ne battent leur adversaire qu'en renonçant elles-mêmes à de bons scores. Les *Extorqueurs* gagnent sur les stratégies auxquelles on les oppose, mais aux dépens du total des points gagnés. D'ailleurs, une stratégie *X-Extorqueur* (avec $X > 1$) qui joue contre elle-même n'obtient (d'après la théorie qu'on vérifie par simulation) qu'un seul point en moyenne par coup, ce qui est très médiocre. Il n'est pas vrai qu'être une bonne stratégie, c'est battre son adversaire. Mieux vaut ne pas le battre, bien s'entendre avec lui et marquer beaucoup de points.

Le cas de *Donnant-donnant* est remarquable et tel qu'on a l'impression d'un paradoxe quand on énonce ses propriétés : *Donnant-donnant* ne bat aucune stratégie individuellement et se fait battre par de nombreuses stratégies et pourtant, c'est une bonne stratégie qui gagne de nombreux tournois et compétitions évolutives. Elle gagne non pas parce qu'elle force les autres à gagner moins qu'elle, comme le fait une stratégie *Extorqueur*, mais parce qu'elle punit les stratégies qui ne veulent pas coopérer. Elle force la coopération. Face à elle, ou bien vous gagnerez peu de points, ou bien vous coopérerez, ce qui sera bon pour elle et pour vous.

C'est donc un contresens que croire que les ZD-stratégies sont bonnes. Dans des rencontres un contre un, elles dominent,

comme le fait *Méchante*, mais globalement elles jouent piteusement ! Outre l'erreur de croire que battre son adversaire, c'est gagner des points, un autre oubli a conduit à croire que les ZD-stratégies étaient dominantes : pour s'imposer, il faut jouer correctement contre soi-même. C'est important dans les tournois, mais plus encore dans les compétitions évolutives. En effet, si vous l'emportez lors des premières générations, l'arène se peuple de stratégies identiques à vous, et vous allez donc très fréquemment les rencontrer. Si vous jouez mal face à vous-même, cela se retourne contre vous.

Rien n'est faux dans les résultats mathématiques de W. Press et F. Dyson, mais en n'abordant que le problème « qui gagne dans un combat un contre un ? » et en oubliant les questions « Combien de points sont gagnés ? » et « Face à toi-même, te fais-tu du tort ? », les théorèmes démontrés ne permettent pas de conclure que les ZD-stratégies sont de bonnes stratégies.

Le résultat de W. Press et F. Dyson sur l'inutilité pour une stratégie d'avoir de la mémoire est juste dans le sens précis de ce qu'ils démontrent : si A est face à une stratégie Bayant une mémoire de k coups, il existe une stratégie A' qui obtient le même score moyen face à B et qui n'a qu'une mémoire de k coups. Mais cela ne signifie pas que face à deux stratégies B et C ayant une mémoire de k coups, il existe une stratégie A' à mémoire de k coups qui fasse le même score face à B et face à C. En effet, celle, A', qui peut remplacer A face à B n'est pas nécessairement la même que celle, A'', qui peut remplacer A face à C. Le résultat de W. Press et F. Dyson sur l'inutilité de la mémoire est valable uniquement dans les combats un contre un ; il cesse d'être vrai dès qu'on envisage des tournois ou des évolutions.

Il est très utile que des chercheurs viennent explorer un domaine qui n'est pas le leur, et si W. Press et F. Dyson n'avaient pas été aussi confiants en leurs résultats, ils n'auraient pas proposé un titre provocateur à leur article – titre qui, après analyse, est faux – et ils n'auraient pas attiré l'attention sur ce qui, malgré tout, présente un véritable intérêt. *Se non è vero è bene trovato* ! ■

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE est professeur à l'Université de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

BIBLIOGRAPHIE

C. Adami et A. Hintze, *Evolutionary instability of zero determinant strategies demonstrates winning is not everything*, *Nature Comm.*, vol. 4, 2193, 2013 [en accès libre].

C. Hilbe et al., *Evolution of extortion on iterated prisoner's dilemma games*, *PNAS*, vol. 110, pp. 6913-6918, 2013.

• W. Press et F. Dyson, *Iterated prisoner's dilemma contains strategies that dominate any evolutionary opponent*, *PNAS*, vol. 109, pp. 10409-10413, 2012.

K. Sigmund, *The Calculus of Selfishness*, Princeton University Press, 2010.

B. Beauflis, *Modèles et simulations informatiques des problèmes de coopération entre agents*, Thèse de doctorat, Université de Lille, 2000.

M. Boerlijst et al., *Equal pay for all prisoners*, *American Mathematical Monthly*, vol. 104, pp. 303-307, 1997.

W. Poundstone, *Le dilemme du prisonnier*, Cassini, 1993.

B. Beauflis, J.-P. Delahaye et P. Mathieu, *Our meeting with Gradual: A good strategy for the iterated prisoner's dilemma*, *Proceedings of Artificial Life V*, MIT Press/Bradford Books, pp. 202-209, 1996.

SCIENCE & FICTION

Monstres tentaculaires

Poulpes et autres calmars géants ont inspiré auteurs de romans et cinéastes. Ils semblent appartenir à la fiction, mais d'étonnants fossiles prouvent que certains ont bien existé.

Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

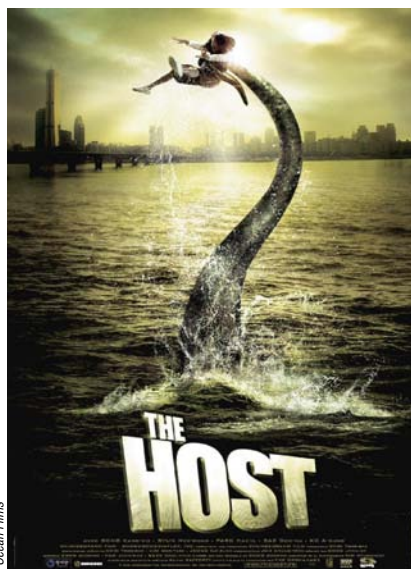
« Ce monstre est celui que les marins appellent poulpe, que la science appelle céphalopode, et que la légende appelle kraken... »

Victor Hugo
Les Travailliers de la mer (1866)

Is se nomment Cthulhu, Kraken, Kroll ou Sarlacc et ont un point commun : ces monstres, les plus terrifiants de la mythologie ou de la science-fiction, sont dotés de tentacules. Pourquoi les affubler de telles excroissances ? Est-ce pour mieux susciter l'effroi ? Le dégoût ? Les animaux réels peuvent-ils nous aider à répondre à ces questions ?

Lorsqu'il s'agit de tentacules, la pieuvre est le premier animal qui vient à l'esprit. Cet animal fait partie des céphalopodes, souvent classés d'après le nombre de leurs tentacules qui varie de huit (chez les octopodes ou pieuvres) à dix (seiches et calmars, nommés décapodes ou décabranchiaux). Ces prédateurs marins, souvent agressifs, chassent à l'affût. Leurs tentacules sont de puissants bras élastiques qui rayonnent de la bouche. Ils s'immiscent dans les moindres anfractuosités pour dénicher leurs proies ou se projettent sur elles. Calmars et seiches utilisent même leurs tentacules comme massues contre leurs prédateurs.

Prise au piège, la proie est étouffée ou broyée, puis portée à la bouche, parfois encore vivante... Là, un puissant bec corné – le « bec de perroquet » – et une radula – une sorte de râpe indurée – ont raison des carapaces les plus rigides. Ce



1. THE HOST, un thriller sud-coréen (2006) met en scène un monstre tentaculaire qui emporte une jeune fille au fond des eaux.

mode de nutrition n'est pas sans rappeler celui du poulpe géant de *Prometheus* (film de Ridley Scott, 2012) et correspondant à un nouveau stade de développement d'Alien. Ces excroissances sont donc des armes redoutables, surtout quand elles sont munies de ventouses ou de crochets. Une pieuvre d'environ deux kilogrammes compte 240 ventouses pivotantes par tentacule, ce qui la rend capable de tracter une proie presque dix fois plus lourde qu'elle ! Plus discret, le nautille, autre céphalopode, arbore 94 tentacules courts munis de cirres, sortes de filaments agrippeurs. Sa coquille spiralée rappelle celle des ammonites disparues il y a quelque 65 millions d'années, en même temps que de nombreux dinosaures.

Tentacules géants pour monstres divers

Avec 10 000 espèces fossiles dont seulement 650 existent encore aujourd'hui, les céphalopodes ont une histoire évolutive longue de près de 500 millions d'années. Mais aussi longue soit-elle, cette histoire comporte encore des zones d'ombre, et chaque grande plongée en bathyscaphe permet d'observer des espèces oubliées, tel le « vampire des abysses » : ce petit céphalopode, unique en son genre, présente des tentacules palmés, bioluminescents et recouverts de pics sur toute leur longueur. Un de ses bras peut même « cracher » un mucus lumineux qui étourdit les prédateurs dans l'obscurité des profondeurs. Citons aussi le calmar colossal (*Mesonychoteu-*



2. ANIMAL TENTACULAIRE évoquant le Cthulhu de l'écrivain H. P. Lovecraft.

this), qui atteint près de 14 mètres de longueur. Son lointain cousin le calmar géant (*Architeuthis*), qui mesure environ 18 mètres, aurait même inspiré Kraken, un monstre marin de la mythologie scandinave. Des restes retrouvés dans l'estomac d'un cachalot suggèrent qu'il aurait atteint parfois 50 mètres de longueur !

Mais la fiction dépasse une fois encore la réalité : ainsi le Kroll, sorte de céphalopode marécageux imaginé par Robert Holmes dans *Doctor Who* (saison 16, 1978-1979), mesure près de 250 mètres de longueur ! On se demande d'ailleurs comment ce mollusque, sans squelette interne, est capable de se redresser et de sortir de son marécage...

Mais les tentacules ne sont pas les seuls apanages des céphalopodes. En effet, la méduse « à crinière de lion » (*Cyanea capillata*) peut porter jusqu'à 800 tentacules de 30 mètres de long chacun ! Pas étonnant que ce monstre gélatineux ait inspiré Arthur Conan Doyle pour une de ses nouvelles mettant en scène Sherlock Holmes (*La Crinière du lion*, 1926). Ceux des cnidaires (méduses, anémones de mer, etc.), même s'ils ne portent ni crochets ni ventouses, sont équipés de cnidoblastes : ces cellules urticantes – plusieurs milliers par tentacule – plantent, par simple contact, leurs microharpons vénéneux dans la peau, provoquant de terribles brûlures, parfois même un arrêt cardiaque.

Les échinodermes présentent aussi

des tentacules : ces « lys de mer », souvent fixés sur les rochers, ont des bras munis de petites excroissances en dents de peigne, nommées pinnules et podia. En agitant l'eau, ces pseudopodes créent un courant qui rabat le microplancton vers leur bouche, située au centre. Les holothuries ou concombres de mer, autres cousins des oursins, présentent aussi des sortes de minitentacules autour de la bouche, ou tentacules péribuccaux. C'est aussi le cas de l'Amphioxus, un « poisson » archaïque dont la colonne vertébrale est remplacée par une structure cartilagineuse (la notochorde) et qui correspond à l'un des animaux tentaculaires les plus proches de l'homme !

Déjà sur Terre il y a plus de 500 millions d'années

D'ailleurs, les humanoïdes à tentacules sont présents dans la science-fiction. Le plus célèbre est Cthulhu, monstre aquatique gigantesque imaginé par Howard Phillips Lovecraft (*L'Appel du Cthulhu*, 1928). Cthulhu a une tête de seiche, des tentacules de pieuvre et des ailes de dragons ! Moins connu, mais tout aussi angoissant, Chaugnar Faugn est un monstre imaginé par l'écrivain Frank Belknap Long (*The Horror from the Hills*, 1963) : il s'agit d'une sorte d'éléphant dont les oreilles, immenses, sont soutenues par des tentacules, et qui est souvent représenté avec

une pince au bout de la trompe.

Enfin, la saga *Star Wars* n'échappe pas à la règle : ainsi le Sarlacc, dans *Le Retour du Jedi* (George Lucas, 1983), est un monstre creusant le sable de la planète Tatooine, et dont le gouffre buccal est orné de tentacules. Il digère pendant plus de 1 000 ans les proies qu'il engloutit ! Une caractéristique qui n'est pas sans rappeler la très lente digestion de la pieuvre : plus de 12 heures.

Mais il n'est pas besoin de puiser dans la fiction pour trouver des monstres tentaculaires. Il suffit de se pencher, par exemple, sur la faune de Burgess, site fossilifère situé au Canada. Datant d'environ 505 millions d'années, il regorge de fossiles à tentacules : outre *Anomalocaris*, superprédateur muni de deux tentacules trapus et articulés autour de la bouche, citons *Nectocaris* qui évoque une seiche dotée de deux longs tentacules apparemment flexibles ! Sans oublier les tentacules des plantes : les interminables racines aériennes des « figuiers étrangleurs », des ficus épiphytes (c'est-à-dire poussant sur d'autres plantes) qui s'entrelacent autour des vestiges d'Angkor et sont capables de briser des murs ! ■

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

Retrouvez les articles de J.-S. Steyer et R. Lehoucq sur www.pourlascience.fr



ART & SCIENCE

Cache-cache dans un tableau

Le peintre américain Abbott Handerson Thayer est l'un des pères de la théorie du camouflage animal. Mais à trop vouloir généraliser ses idées, il eut pour contradicteur... le président Théodore Roosevelt !

Loïc MANGIN

De nombreuses espèces animales échappent à la vue des prédateurs en se camouflant. Ce peut être grâce à leurs formes (les poissons-pierre, les phasmes qui ressemblent à des brindilles) ou à leurs couleurs (les caméléons, certains poissons plats, les seiches). L'un des premiers à étudier ce phénomène et à tenter d'en déterminer des principes généraux fut l'Américain Abbott Handerson Thayer (1849-1921), un peintre formé pendant quatre ans à l'École des beaux-arts de Paris, notamment auprès de Jean-Léon Gérôme (1824-1904).

Le style de l'artiste est difficile à cerner, tant il mêle traditions académiques et fantaisies. Thayer est surtout connu pour ses « figures idéales » où des femmes, incarnations de la vertu, arborent tuniques vaporeuses et ailes d'anges. Ses techniques étaient peu orthodoxes et, par exemple, il mélangeait poussière et peinture. Il eut néanmoins de son vivant une certaine renommée qui fit de lui un portraitiste très demandé : Mark Twain et Henry James ont eu les honneurs de ses pinceaux. On peut aujourd'hui admirer ses œuvres dans les plus grands musées américains, à Chicago, Washington, New York...

Vers la fin de sa vie, épris de nature et fervent défenseur du darwinisme, il s'intéressa aux animaux et particulièrement au rôle protecteur de certaines couleurs. Il travailla durant sept ans à un ouvrage, *Concealing - Coloration in the Animal Kingdom* (Se camoufler - Les couleurs dans le règne ani-

mal), publié en 1909 et dont l'auteur crédité est Gerald Handerson Thayer, son fils. Les peintures qui illustrent l'ouvrage sont de beaux exemples de camouflage. On peut citer des geais bleus dans un paysage enneigé (voir l'illustration page ci-contre), un serpent invisible au milieu de feuilles mortes...

Avant cet ouvrage, Thayer s'est fait remarquer par deux contributions qui en font l'un des pères de la théorie du camouflage chez les animaux. En 1896, il expose dans *The Auk*, la revue de l'Union américaine des ornithologues, les principes de la contre-illumination, un phénomène déjà remarqué par le zoologiste britan-

Thayer fut un portraitiste très demandé : Mark Twain et Henry James ont eu les honneurs de ses pinceaux.

nique Edward Poulton en 1890 et adopté par de nombreux poissons, des oiseaux, des mammifères, etc.

Son principe est le suivant : grâce à des teintes sombres dans les zones les plus exposées au soleil et claires dans les zones les plus à l'ombre, un animal s'efface. Prenons l'exemple d'un poisson nageant près de la surface : pour un prédateur situé sous lui, son ventre se confond avec la surface éclairée, tandis que pour un autre situé au-dessus, son dos plus sombre se distingue peu sur le fond. Thayer écrit : « Le spectateur semble voir à travers un volume pourtant occupé par un animal opaque. »

En 1903, Thayer poursuit ses investigations et met au jour les principes du camouflage disruptif : des motifs très contrastés (des tâches, des rayures...) sur la parure d'un animal semblent en estomper les contours. C'est par exemple le cas du léopard.

Emporté par son enthousiasme et, selon certains, par une certaine dose d'arrogance, il généralise ses découvertes en affirmant : « Les motifs et les couleurs de tous les animaux, qu'ils soient des proies ou des prédateurs, ont pour fonction, dans certaines conditions, de les dissimuler à la vue. » C'en était trop. Dès 1911, l'ancien président américain Théodore Roosevelt, chasseur et naturaliste amateur, attaqua avec virulence les idées du peintre. C'était fondé.

Ainsi, le tableau de Thayer où des flamands roses disparaissent devant un coucher de soleil n'est pas réaliste. En effet, à contre-jour, ces oiseaux devraient plutôt apparaître comme des ombres se découpant sur le ciel. En outre, le peintre rejetait en bloc les idées de Darwin sur la sélection sexuelle qui expliquent notamment la livrée des paons.

Face à ses nombreux détracteurs, Thayer s'obstina et perdit ainsi une bonne part de sa crédibilité. Néanmoins, au moment de la Première Guerre mondiale, ses idées furent reprises et appliquées au camouflage des navires militaires américains. ■

R. Behrens, *Revisiting Abbott Thayer : Non-scientific reflections about camouflage in art, war and zoology*, *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 364, pp. 497-501, 2009.