

➤ l'océan (voir la figure page 31). À cause de leur forme, on parle aussi de lentilles d'eau.

Leur découverte à la fin des années 1970, au cours d'une campagne en mer au large des Bahamas, a été une surprise. En effet, la dynamique profonde de nos océans n'est pas observable à l'œil nu, même qualitativement, ce qui explique que ces tourbillons océaniques soient si longtemps passés inaperçus. En revanche, une fois qu'ils sont repérés, leur caractérisation est bien plus aisée que sur Jupiter, même si cela nécessite des campagnes en mer de grande envergure.

Par exemple, les meddies engendrent typiquement des anomalies d'élévation de la surface de la mer de l'ordre de 10 centimètres, qu'il est possible de détecter. La réalisation de profils verticaux de température et de salinité contribue aussi à les révéler (voir les figures page 31), comme ce fut le cas lors de leur découverte. Enfin, une fois les meddies découverts, les scientifiques ont piégé des bouées sous-marines au sein de ces tourbillons afin de suivre leur évolution sur plusieurs semaines.

La formation des meddies s'explique aujourd'hui par les échanges d'eau entre l'océan Atlantique et la mer Méditerranée au niveau du détroit de Gibraltar. L'eau de la Méditerranée, plus dense que celle de l'Atlantique, s'écoule dans le golfe de Cadix et plonge le long du talus continental jusqu'à atteindre une profondeur d'équilibre, où la densité de l'océan froid est égale à celle de l'eau en provenance de la Méditerranée, plus chaude, mais aussi plus salée. Le courant avance alors horizontalement. Mais, soumis à la force de Coriolis, il s'enroule suivant la direction anticyclonique. Les vitesses de rotation au sein du meddy peuvent alors atteindre 50 centimètres par seconde. Une fois bouclé, le tourbillon ainsi formé se détache du courant et isole efficacement sa masse d'eau méditerranéenne des abysses environnants.

Il se forme sur ce principe de 15 à 20 meddies par an, et ceux-ci ont une durée de vie moyenne de 1,7 an. Certains disparaissent rapidement, du fait d'un bouclage incomplet, suite aux interactions avec divers courants sous-marins, ou à des collisions avec des monts sous-marins. D'autres parviennent cependant à s'échapper du bassin des Canaries et voyagent alors à travers l'océan Atlantique à une vitesse de l'ordre 3,5 kilomètres par jour, pour venir s'écraser, au bout de quatre à cinq ans, sur les côtes de l'Amérique du Sud. On retrouve donc ici l'une des signatures des tourbillons flottants, déjà mise en avant par la Grande Tache rouge de Jupiter: leur longue durée de vie et leur persistance remarquable dans un environnement pourtant chaotique.

Les meddies font partie intégrante de la circulation océanique globale. Du fait de leur longévité et de leur taille, ils transportent sur

de grandes distances des quantités importantes de chaleur et de sel (100 milliards de tonnes de sel pour un seul meddy!). Ils constituent ainsi un apport permanent de sel dans l'océan Atlantique Nord. Sans cet apport, la circulation océanique globale, dite «thermohaline», qui aide à redistribuer la chaleur liée au chauffage solaire des tropiques vers le pôle Nord pourrait être réduite, conduisant à de plus faibles températures dans des régions comme le nord-ouest de l'Europe, qui connaît aujourd'hui un climat tempéré. Même si la circulation océanique globale dépend de nombreux autres facteurs, comme la quantité d'eau douce relarguée par la fonte des glaces au pôle Nord, les meddies pourraient y jouer un rôle non négligeable. Ils constituent donc des acteurs potentiellement importants de l'évolution du climat de la planète.

UN PHÉNOMÈNE UNIVERSEL

Notons que l'on a observé d'autres tourbillons flottants, similaires aux meddies mais plus petits, en divers endroits de la Terre, grâce à la multiplication des campagnes en mer, ce qui souligne de nouveau l'universalité de ces structures: par exemple au niveau du Gulf Stream, dans l'océan Arctique, ou encore dans le golfe de Gascogne. On a aussi découvert des lentilles d'eau de la mer Rouge flottant dans la mer d'Arabie.

D'autres structures relevant de la même dynamique des fluides ont été identifiées cette fois-ci à la surface des océans, par exemple des tourbillons d'eau de l'Amazone (douce et donc peu dense par rapport à l'eau salée des océans) qui remontent le long des côtes de l'Amérique du Sud jusqu'au golfe du Mexique, transportant d'importantes quantités de nutriments pour le plus grand bonheur des poissons... et des pêcheurs. Toutes ces structures font actuellement l'objet d'études approfondies de la part des océanographes.

Ce phénomène de tourbillon flottant ne se limite pas à Jupiter et aux océans terrestres. Il pourrait aussi se manifester dans les disques protoplanétaires, ces structures de gaz et de poussières en rotation autour d'étoiles jeunes, au sein desquels se forment les planètes. La répartition des poussières ainsi que la gravité due à l'étoile contribuent à une stratification du disque. Les ingrédients sont ainsi tous en place pour imaginer que des tourbillons flottants de gaz et de poussières se forment. Ils pourraient même constituer les graines des futures planètes, en amorçant l'agglomération rapide de matériaux de taille micrométrique. Ce scénario est encore vivement débattu, mais l'étude de Jupiter montre que nous avons de nombreux moyens, théoriques et expérimentaux, pour mettre à l'épreuve des modèles de phénomènes qui se passent très loin de nos laboratoires. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Lemasquerier et al., **Remote determination of the shape of Jupiter's vortices from laboratory experiments**, *Nature Physics*, vol. 16, pp. 695-700, 2020.

M. Heimpel et al., **Simulation of deep-seated zonal jets and shallow vortices in gas giant atmospheres**, *Nature Geoscience*, vol. 9, pp. 19-23, 2016.

O. Aubert et al., **The universal aspect ratio of vortices in rotating stratified flows : experiments and observations**, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 706, pp. 34-45, 2012.

P. Hassanzadeh et al., **The universal aspect ratio of vortices in rotating stratified flows : theory and simulation**, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 706, pp. 46-57, 2012.

P. L. Richardson et al., **A census of meddies tracked by floats**, *Progress in Oceanography*, vol. 45(2), pp. 209-250, 2000.

Contrer les mauvais coups du coucou

La coévolution entre des oiseaux parasites, tels que les coucous, et leurs hôtes a produit d'étonnantes adaptations. Une course aux armements qui touche toutes les étapes du cycle de reproduction des oiseaux.

Perchée sur une branche, une petite rousserolle verderolle (*Acrocephalus palustris*) est accaparée par ses devoirs parentaux : elle tente de nourrir un insatiable coucou gris (*Cuculus canorus*), beaucoup plus grand qu'elle et qui tient à peine dans le minuscule nid de la rousserolle (photographie ci-contre). Cette scène, fréquente dans les bois et les zones marécageuses d'Europe à la fin du printemps, illustre le comportement reproductif étonnant de certains oiseaux : le « parasitisme de couvée ». Au lieu de construire leur propre nid, les parasites de couvée déposent leurs œufs dans les nids d'autres espèces, hôtes qui se préoccupent de couvrir les œufs étrangers et de prendre soin des oisillons qui en seront issus.

Or ce comportement ne se limite pas à la ponte dans le nid d'un tiers. Lors des premiers jours qui suivent sa naissance, le coucou escale les parois du nid en portant sur son dos

l'œuf pondu par son hôte, ou l'oisillon de l'hôte, dans le seul but de l'expulser du nid, action qu'il répétera autant de fois qu'il y a d'œufs ou d'oisillons. En éliminant la concurrence, le coucou parasite s'assure que les soins apportés par ses parents adoptifs se concentreront sur lui seul.

Quels sont, pour le coucou, les avantages de ce comportement inhabituel ? La première explication du parasitisme de couvée, en termes d'évolution, a été proposée par Charles Darwin dans *L'Origine des espèces*. Selon lui, les parents parasites évitent ainsi d'investir du temps et de l'énergie dans la construction du nid et l'élevage de leurs petits, ce qui leur permet de se consacrer à la recherche de nourriture et à la conception d'une progéniture plus nombreuse.

Pour les parents adoptifs, qui s'efforcent de s'occuper d'un oiseau avec lequel ils n'ont aucun lien de parenté, le parasitisme représente un coût énorme. De fait, la sélection >

L'ESSENTIEL

> Certains oiseaux pondent dans le nid d'autres oiseaux, qui couvent les œufs parasites puis nourrissent les oisillons.

> Le conflit ainsi créé entre l'oiseau parasite et l'oiseau hôte a favorisé chez les deux protagonistes l'apparition d'une série d'adaptations et de contre-adaptations.

> Par le passé, on pensait que cette coévolution entre le parasite et l'hôte se limitait au stade de l'œuf.

> La coévolution s'est révélée plus complexe et s'étend en fait à toutes les phases du cycle de reproduction.

LES AUTEURS



FRANCISCO RUIZ-RAYA
chercheur
postdoctorant
à l'université de Vigo,
en Espagne



MANUEL SOLER
professeur
au département
de zoologie
de l'université
de Grenade, en Espagne



Un jeune coucou gris (*Cuculus canorus*) nourri par la rousserolle verderolle (*Acrocephalus palustris*), l'une de ses espèces hôtes vivant dans les forêts européennes. Comment le coucou s'y prend-il pour que la rousserolle s'occupe de lui ?

> naturelle a favorisé chez eux l'apparition d'attitudes défensives visant à empêcher ce parasitisme, ce qui entraîne à son tour, chez ces fameux parasites, le développement de stratégies étonnamment raffinées pour contrecarrer ces défenses. Tout comme les grandes puissances impliquées dans la guerre froide, les deux parties en présence se trouvent engagées dans une course aux armements au cours de laquelle elles rivalisent d'ingéniosité en matière de stratégies et d'efficacité, fournissant ainsi certains des meilleurs exemples de coévolution (transformations réciproques se produisant au cours de l'évolution chez des espèces en interaction) ayant été décrits jusqu'ici.

Depuis des siècles, les naturalistes sont fascinés par le comportement reproductif des parasites de couvée. À la suite de Darwin, de nombreux chercheurs se sont penchés sur l'étude des pressions sélectives qui régissent l'interaction des parasites de couvée avec leurs hôtes. Aujourd'hui, nous savons que le parasitisme de couvée a évolué en sept occasions de manière indépendante chez les oiseaux: trois fois chez les coucous (famille des cuculidés), et une fois chez les ictéridés, famille d'oiseaux comprenant les carouges et les quiscalas d'Amérique, chez les pinsons parasites (famille des viduidés), chez les indicateurs (famille des indicatoridés), et chez une espèce d'anatidés, l'hétéronette à tête noire (*Heteronetta atricapilla*).

UNE CENTAINE D'ESPÈCES

En dépit de ses avantages apparents, le parasitisme n'est pas très fréquent chez les oiseaux. Au total, un peu plus d'une centaine d'espèces sont connues pour le pratiquer, c'est-à-dire seulement 1 % des espèces actuelles d'oiseaux. Si ce nombre est peu élevé, c'est parce qu'être un parasite de couvée n'est pas une mince affaire. D'une part, le parasite doit surmonter des défis majeurs en termes d'évolution, par exemple faire en sorte que ses petits apprennent à reconnaître les individus de leur propre espèce même quand ils ont été élevés par des individus d'une autre. D'autre part, ils doivent faire face aux stratégies défensives développées par les hôtes pour se débarrasser d'eux.

Au cours du xx^e siècle, notre vision de cette course aux armements se fondait sur les découvertes réalisées chez le coucou gris, auxquelles se sont ajoutées des études précises sur le comportement parasitaire du vacher à tête brune (*Molothrus ater*), un oiseau grégaire d'Amérique du Nord. Bien que le coucou soit toujours l'espèce la plus étudiée, les recherches effectuées au cours des vingt dernières années, dont celles de notre équipe, ont montré que les relations coévolutives entre les parasites de couvée et leurs hôtes sont beaucoup plus variées et complexes qu'on ne le pensait. Elles ont également révélé que la course aux armements ne

se limite pas au stade de l'œuf, mais intervient dans toutes les phases du cycle de reproduction. Les récentes et nombreuses avancées relatives à la connaissance du parasitisme de couvée chez les oiseaux ont un impact considérable sur notre compréhension générale de la coévolution parasites-hôtes.

PONTE ET ANTIPONTE

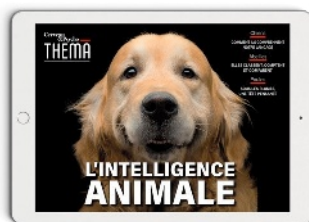
Le succès reproducteur des parasites de couvée dépend en grande partie de leur efficacité au moment de déposer les œufs dans un nid étranger, sachant que la première ligne de défense d'un hôte consistera à éviter une telle action. Pour l'hôte, la probabilité de réussir sera d'autant plus importante que le nid sera discret et difficile d'accès pour les parasites, et situé loin de leur perchoir habituel. Chez certains parasites de couvée du genre *Molothrus*, les zones du cerveau en charge du traitement des informations spatiales, notamment l'hippocampe, sont bien développées, ce qui facilite sans doute chez ces espèces la localisation des nids de leurs hôtes. Ces adaptations sont particulièrement évidentes chez les femelles, comme l'ont montré en 2014 et 2016 Mélanie Guigueno, de l'université McGill, au Canada, et ses collègues dans leurs études portant sur la mémoire spatiale et l'hippocampe du vacher à tête brune en Amérique du Nord.

Dans d'autres cas, les hôtes modifient la phénologie de la reproduction afin d'éviter qu'elle ne se superpose à celle du parasite. En Australie, des femelles d'acanthizes à croupion jaune (*Acanthiza chrysorrhoa*), principaux hôtes du coucou éclatant (*Chrysococcyx lucidus*), avancent le début de la ponte et coiffent ainsi sur le poteau les coucous qui n'ont pas encore commencé la leur. En réponse, certains parasites ont développé une stratégie connue sous le nom d'«élevage d'hôtes» (*host farming* en anglais) : lorsque les œufs se trouvent dans un état d'incubation trop avancé pour parasiter le nid, ils le saccagent. Ce qui oblige l'hôte à pondre de nouveau, permettant alors au parasite de déposer son œuf dans le nid.

La stratégie la plus répandue pour prévenir le parasitisme, et peut-être la plus efficace, est la défense active du nid. Certaines espèces



à lire



THEMA L'intelligence animale

Une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* ou *Cerveau & Psycho* sur les prouesses cognitives des animaux.

Hors-série numérique en vente sur notre site uniquement :
boutique.pourlascience.fr



Les différents oiseaux hôtes de deux coucous africains ont réagi au parasitisme en pondant des œufs ayant des caractéristiques distinctives. Il est ainsi difficile pour les parasites de pondre des œufs de même aspect et cela permet à l'hôte d'identifier les œufs étrangers. La diversité des couleurs et des marbrures est évidente non seulement d'une espèce hôte à l'autre (colonnes), mais aussi d'une femelle à l'autre au sein d'une même espèce (éléments de la colonne).

réagissent avec agressivité lorsqu'elles découvrent un parasite de couvée près de leur nid. Elles le harcèlent et tentent de l'attaquer pour l'expulser des lieux. Souvent, les couples qui vivent dans le voisinage s'unissent et coopèrent pour mener ces attaques, et utilisent même des informations sociales pour adapter leur réponse, comme l'ont démontré les études menées par Daniela Campobello, de l'université de Palerme, et Spencer Sealy, de l'université du Manitoba, en 2010 et 2011.

Dans une étude publiée en 2009, Nicholas Davies et Justin Welbergen, de l'université de Cambridge, au Royaume-Uni, ont montré que les rousserolles effarvates (*Acrocephalus scirpaceus*) étaient plus agressives envers le coucou gris après avoir observé que d'autres rousserolles déployaient près d'elles des stratégies de défense contre l'intrus. En réponse, les parasites tentent de ne pas être repérés. Ils adoptent des comportements furtifs quand ils sont à proximité du nid qu'ils ont l'intention de parasiter ou restent postés sur leur perchoir en attendant le moment propice. Lorsque l'occasion se présente, quelques secondes leur suffisent pour pondre dans le nid de l'hôte.

L'oiseau parasite présente parfois des adaptations morphologiques surprenantes. Ainsi, le coucou gris a un plumage rayé caractéristique sur la zone ventrale, très semblable à celui de l'épervier d'Europe (*Accipiter nisus*), l'un des prédateurs des espèces hôtes du coucou. Quel avantage cela lui apporte-t-il? Afin de répondre à cette question, Justin Welbergen et Nicholas Davies ont effectué en 2008 une étude expérimentale en

utilisant différents modèles de coucous empaillés après avoir modifié la couleur de leur plumage ventral. Puis ils les ont placés à proximité de nids de rousserolles effarvates et ont observé leur réaction. Ils ont constaté que les rousserolles réduisaient le nombre de leurs attaques contre les coucous empaillés dont la partie ventrale était similaire à celle de l'épervier. Cela suggère que le plumage ventral du coucou agit comme un «déguisement» de prédateur.

QUAND LE MÂLE FAIT DIVERSION

Dans d'autres systèmes, le succès du parasitisme repose sur la coopération entre les sexes, ce qui a été observé chez le coucou geai (*Clamator glandarius*), qui est, avec le coucou gris, l'une des deux espèces parasites d'Europe. Comme l'ont décrit en 1974 Fernando Álvarez, de la station biologique de Doñana, et Luis Arias de Reyna, de l'université de Cordoue, en Espagne, le mâle et la femelle du coucou geai coopèrent pour parasiter les nids de leur principale espèce hôte, la pie bavarde (*Pica pica*).

Au cours d'une manœuvre de diversion très élaborée, le mâle s'approche du nid de la pie et tente d'attirer son attention afin qu'elle l'attaque et abandonne ainsi son nid durant quelques instants. La femelle coucou, qui s'était préalablement positionnée près du nid, profite alors de l'occasion pour pondre dans le nid de la pie en seulement deux ou trois secondes.

Mais alors, que se passe-t-il si la pie décide malgré tout de rester dans son nid? Le coucou peut alors recourir à des stratégies moins subtiles. Dans une étude que nous avons publiée ➤



► en 2014, nous avons constaté que plus de la moitié des cas de parasitisme se produisent lorsque la pie femelle est dans le nid. En filmant la scène, nous avons montré que le coucou femelle réussit à déposer son œuf dans le nid tout en étant attaquée par la pie.

Un tel comportement a également été documenté chez le vacher luisant (*Molothrus bonariensis*), dont la femelle parvient à parasiter le nid du moqueur plombé (*Mimus saturninus*) malgré la réponse agressive de ce dernier. Bien que, par sa réaction, le moqueur ne parvienne pas à empêcher le parasitisme, il réussit malgré tout à réduire le nombre d'œufs détruits par le vacher luisant, qui profite généralement de la situation pour les briser à coups de bec.

DES ŒUFS TRÈS RESSEMBLANTS

Durant les dernières décennies du siècle passé, on supposait que la relation coévolutive entre les parasites de couvée et leurs hôtes avait lieu surtout par le biais de différentes stratégies de mimétisme au stade de l'œuf, visant à éviter qu'il soit reconnu comme étranger par l'hôte et donc qu'il soit rejeté. Précisons ici que chez les hôtes du coucou et du vacher, on trouve trois méthodes de rejet. La plus commune est l'éjection de l'œuf parasite du nid. Une autre consiste en l'enfouissement partiel

ou complet dans le nid de la couvée parasitée, suivi d'une nouvelle couvée pondue dans un nid superposé au précédent. Une troisième méthode, enfin, est l'abandon du nid parasité.

La ressemblance frappante entre les œufs du coucou gris et ceux de ses principaux hôtes européens a fait l'objet d'innombrables études. Face à la reconnaissance et au rejet de l'œuf parasite par l'hôte, le mimétisme des œufs du coucou s'est perfectionné au point que ces œufs sont presque identiques à ceux de ses hôtes, tant au niveau de la couleur que du mouchetage. En Europe, le coucou gris parasite habituellement plus d'une quinzaine d'espèces d'oiseaux. Cela a conduit à l'émergence de différentes lignées de coucous dont les œufs imitent ceux de leur espèce hôte à un niveau impressionnant.

Comment alors les hôtes peuvent-ils reconnaître l'intrus ? L'étude de plusieurs exemples de parasitisme en Afrique et en Asie a fourni des informations très pertinentes sur cette question. Les œufs des hôtes de certains parasites africains présentent des motifs complexes de mouchetage et des nuances de couleur variées qui font office de « signatures personnalisées ». Ces caractéristiques varient entre les femelles d'une même espèce d'hôtes et donnent lieu à un polymorphisme extraordinaire en ce qui concerne l'aspect de leurs œufs.

Dans un nid parasité par un coucou gris, les événements se succèdent de la façon suivante. Tout d'abord, l'œuf pondu par le coucou apparaît semblable aux œufs de l'hôte, bien qu'un peu plus gros (1). Peu après l'éclosion (2), le petit du coucou escalade la paroi du nid afin de se débarrasser, un à un, des œufs de l'hôte (3). Une fois seul dans le nid (4), les parents adoptifs en prendront soin de manière exclusive.

Étonnamment, certains parasites ont également contrecarré cette stratégie, comme on a pu le vérifier dans le sud du Sahara avec l'anomalospize parasite (*Anomalospiza imberbis*) et son hôte le plus commun, le prinia modeste (*Prinia subflava*). Claire Spottiswoode et Martin Stevens, de l'université de Cambridge, ont utilisé des modèles de perception visuelle pour analyser les changements d'apparence des œufs de ces deux oiseaux sur une période de quarante ans. Leurs résultats, publiés en 2010, ont révélé que les motifs de mouchetage et la couleur des œufs des deux espèces se sont rapidement diversifiés en seulement quelques décennies, ce qui indique que le parasite et l'hôte suivent chacun de près la trajectoire évolutive de l'autre. De même, certaines espèces hôtes du coucou didric (*Chrysococcyx caprius*), en Zambie, présentent des œufs aux motifs visuels imprévisibles qui rendent difficile une imitation satisfaisante par le parasite.

L'évolution du polymorphisme semble être un phénomène plus répandu qu'on ne le pensait. Canchao Yang, de l'université de Hainan, en Chine, et ses collègues ont examiné ce phénomène en profondeur en ce qui concerne les systèmes asiatiques, comme celui constitué par le coucou gris et son principal hôte en Chine, le paradoxornis à gorge cendrée (*Paradoxornis alphonisianus*). Contrairement à ce qui se passe avec les hôtes européens du coucou gris, ce dernier et le paradoxornis ont développé un polymorphisme au niveau de la couleur de leurs œufs (qui ne sont pas mouchetés) : chez les deux espèces, ils peuvent être blancs, bleus ou, moins fréquemment, bleu ciel.

Dotés de caractéristiques qui les rendent uniques, les systèmes parasites-hôtes chez les oiseaux asiatiques font l'objet de recherches particulièrement prometteuses. Rien qu'en Chine, six genres et dix-sept espèces de coucous ont été documentés, ce qui est extraordinaire. La présence de multiples espèces de parasites dans une même zone offre une occasion exceptionnelle d'étudier les interactions coévolutives. Celles-ci peuvent se révéler très complexes en raison de la compétition entre parasites ciblant les mêmes espèces hôtes ou, du côté des hôtes, de l'évolution de défenses spécifiques à l'encontre de différentes espèces de coucous.

Il y a encore dix ans, on pensait que la réponse instinctive de l'hôte face à la présence d'un œuf étranger dans son nid consistait à l'en rejeter. Or, depuis quelques années, se sont accumulées des preuves que cette reconnaissance de l'œuf ne conduit pas toujours à son élimination. Notre équipe a constaté que la réponse de l'hôte peut varier en fonction de l'intensité du parasitisme subi par sa population.

Ainsi, dans une étude réalisée dans le sud de l'Espagne, nous avons évalué le pourcentage de nids d'agrobate roux (*Cercotrichas*

galactotes) où cet oiseau avait éjecté un œuf parasite de coucou que nous avions nous-mêmes introduit à titre expérimental. Nous avons constaté qu'en à peine dix ans, le taux de rejet était passé de 65% à zéro. Nous attribuons ce phénomène à la disparition du coucou gris dans la région. Nos observations sur les nids d'agrobates ont révélé que de nombreux individus reconnaissaient l'œuf expérimental intrus, mais décidaient de ne pas l'expulser.

REJETER OU NON L'ŒUF ?

Aussi surprenant que cela puisse paraître, la décision d'accepter l'œuf parasite n'est pas forcément une mauvaise stratégie dans certaines circonstances, car son éjection ne se fait pas sans en payer le prix : l'hôte pourrait éliminer l'un de ses œufs par erreur, ou endommager accidentellement une partie de sa couvée. Pour éviter ce type d'incident, des réponses plus souples sont apparues chez l'hôte, qui adapte son attitude défensive au risque réel de parasitisme. En d'autres termes, il ne réagit que s'il a des preuves évidentes qu'un œuf intrus peut se trouver dans son nid, ou que des parasites adultes sont dans les parages.

Nous savons aujourd'hui que le rejet des œufs étrangers est un processus très complexe. Nos recherches sur le merle noir (*Turdus merula*) ont révélé que certaines caractéristiques des œufs qui parasitent son nid peuvent être déterminantes pour la prise de décision. Bien que les reconnaissant comme étrangers, le merle femelle accepte plus fréquemment les œufs expérimentaux légèrement plus lourds ou plus gros, peut-être parce que le prix à payer pour les expulser serait trop élevé. Des recherches récentes suggèrent que les réponses antiparasitaires de la femelle pourraient se ➤



L'oisillon parasite du genre *Vidua* (à gauche) ne se contente pas d'imiter les vocalises du petit de son hôte, l'astrild ondulé (*Estrilda astrild*, un passereau africain, à droite), pour quémander de la nourriture. Il fait également preuve d'un spectaculaire mimétisme au niveau des taches, motifs et couleurs ornant l'intérieur de la bouche. Ce mimétisme favorise sans doute le nourrissage de l'oisillon parasite par ses parents adoptifs.

> mesurer à l'aune de l'action des hormones impliquées dans les soins parentaux, comme la prolactine, et dans le métabolisme lui-même, comme la corticostérone (associée au stress). Nos données montrent que la présence d'un œuf étranger altère les taux de ces deux hormones chez le merle femelle, ce qui semble déterminer sa réponse face à l'œuf. Sans aucun doute, l'étude future des mécanismes physiologiques qui interviennent dans le comportement défensif des hôtes sera cruciale pour comprendre ces différences comportementales, tant au niveau des individus que des espèces.

	HÔTE	PARASITE
AVANT LA PONTE 	Construit des nids cachés Défend agressivement le nid La femelle n'abandonne pas le nid	Développe la mémoire spatiale pour localiser les nids Imité le plumage d'un prédateur (épervier) pour éviter d'être agressé Coopère avec l'autre sexe pour distraire l'hôte Imité le plumage d'un prédateur (épervier) pour éviter d'être agressé Parasite le nid pendant que la femelle hôte s'y trouve
STADE DE L'ŒUF 	Rejet de l'œuf parasite (par éjection, enfouissement de la couvée parasitée ou abandon du nid parasité) Pond des œufs d'aspects divers (polymorphisme)	Détruit la ponte de l'hôte (comportement « mafieux ») Ses œufs imitent ceux de l'hôte Imité le polymorphisme des œufs de l'hôte
STADE DE L'OISILLON 	La femelle reconnaît le parasite et l'abandonne, ne l'alimente plus ou l'expulse du nid	L'oisillon parasite expulse du nid tous les œufs ou oisillons de l'hôte pour éviter la concurrence L'oisillon parasite imite les oisillons de l'hôte (mimétisme visuel et vocal)
STADE DE L'ENVOL 	La femelle reconnaît le jeune parasite et ne le nourrit pas	Le jeune oiseau parasite imite les jeunes de l'hôte (mimétisme visuel et vocal) Le jeune oiseau change de parents adoptifs

Le parasitisme de couvée a conduit à l'émergence, à tous les stades du cycle biologique, d'une série d'adaptations et de contre-adaptations tant au sein de l'espèce parasite que de l'espèce hôte. De nombreux exemples de comportement décrits dans ce tableau ont été découverts au cours des deux dernières décennies.

L'hôte ne se contente pas de réagir face à l'œuf étranger. Sa réponse peut également être affectée par le comportement des parasites adultes. En 1979, le biologiste israélien Amotz Zahavi a émis l'hypothèse que ces derniers pourraient recourir à un comportement mafieux en exerçant des représailles contre les hôtes ayant rejeté leurs œufs. Ce n'était là qu'une supposition, mais elle fut très critiquée et n'avait pas été vérifiée expérimentalement. À la fin du siècle dernier, notre groupe a entrepris de le faire sur le coucou gris qui parasite le nid de la pie.

Nos recherches ont montré que les coucous détruisaient tous les œufs du nid où la pie avait expulsé l'œuf du parasite. Le succès reproductif de la pie étant ainsi réduit de manière drastique, il était donc plus rentable pour cet oiseau d'accepter l'œuf parasite que de s'en débarrasser, comme nous l'avons observé ; c'était là sa seule chance de voir naître sa propre progéniture. Contrairement au coucou gris, l'oisillon du coucou geai n'éjecte pas les œufs et les oisillons hôtes du nid, donc l'hôte peut parfois élever le parasite parmi sa progéniture. À la suite de ces travaux, d'autres biologistes, notamment les Américains Jeffrey Hoover et Scott Robinson, ont également décrit de tels comportements mafieux chez d'autres espèces, comme le vacher à tête brune.

LE PARASITE DÉGUISE EN HÔTE

En 2003, Naomi Langmore, de l'université nationale australienne, et ses collègues ont décrit un comportement vraiment fascinant. Le mériion superbe (*Malurus cyaneus*), un passereau australien, avait pu identifier l'oisillon parasite du coucou didric, et l'avait abandonné et laissé mourir de faim dans le nid. Cette découverte contredisait l'idée largement répandue selon laquelle un tel comportement était exclu car il avait un coût très élevé (risque d'abandonner son oisillon si ce comportement est dirigé vers sa progéniture par erreur) et bien peu d'avantages (abandonner le nid avec un coucou oisillon seul ne sauvera pas sa progéniture). En d'autres termes, si le rejet de l'œuf étranger permet de sauver sa propre progéniture, ce n'est pas le cas avec l'oisillon parasite, car celui-ci a déjà préalablement éliminé tous les œufs de l'hôte. Cependant, des études ultérieures, comme celle de Nozomu Sato, Keisuke Ueda et leurs collègues en 2009, ont montré que certaines espèces hôtes appartenant à l'espèce *Gerygone* – des passereaux également – franchissent une étape supplémentaire et réussissent à expulser l'oisillon étranger en le saisissant avec leur propre bec.

À la suite de ces découvertes, ont été apportées de nouvelles preuves de discrimination pratiquée à l'égard d'oisillons parasites par des hôtes, qui cessaient de les nourrir. Parallèlement, de nombreux cas de mimétisme visuel et vocal (cris pour demander à manger) ont été décrits

chez les petits parasites: une stratégie visant à ce qu'ils soient confondus avec les petits de l'hôte. Il s'agit là d'un autre exemple de coévolution: le mimétisme des oisillons parasites est l'une des voies pour contrer la capacité de reconnaissance développée par leurs hôtes. En somme, ces conclusions présument que l'identification des oisillons étrangers est beaucoup plus répandue qu'on ne le supposait il y a seulement quinze ans. Aujourd'hui, il est admis que la course aux armements entre le parasite et l'hôte ne se limite pas à la phase de l'œuf, mais s'étend à celle des petits tant qu'ils restent dans le nid.

Et ce n'est pas tout. Certains éléments indiquent que cette rivalité se prolonge jusqu'à la période d'envol des oiseaux, c'est-à-dire lorsqu'ils ont déjà quitté le nid, ce qui était impensable au début de ce siècle. Bien qu'encore peu étudiées, les adaptations et contre-adaptations à ce stade ont été démontrées dans deux cas. Les preuves les plus solides ont été apportées par María Cecilia de Mársico, de l'université de Buenos Aires, et ses collègues, grâce à leurs travaux sur le carouge à ailes baies (*Agelaioides badius*), oiseau hôte de deux espèces du genre *Molothrus*: le vacher criard (*M. rufoaxillaris*), son parasite spécialisé (il ne parasite que lui), et le vacher luisant (*M. bonariensis*), un parasite généraliste (il parasite aussi d'autres oiseaux).

L'équipe de María Cecilia de Mársico a découvert en 2012 que le carouge nourrit les oisillons du parasite spécialisé, qui imitent à la fois l'apparence de ses propres oisillons et leurs cris de demande de nourriture; en revanche, il refuse de nourrir ceux du parasite généraliste, qui ne font preuve d'aucun mimétisme avec les petits de l'hôte. Cela signifie que les oisillons du vacher criard, contrairement au vacher luisant, ont franchi une étape supplémentaire en termes de mimétisme.

NOURRI MÊME APRÈS L'ENVOI

Le deuxième exemple d'adaptation au stade de l'envol est illustré par le système formé par le coucou (parasite) et la pie (hôte), chez qui notre équipe a fait deux découvertes importantes. Tout d'abord, nous avons constaté que lorsque le petit du parasite ne partage pas le nid avec les petits de la pie (et il s'agit de la situation la plus courante, puisque les oisillons de l'hôte meurent souvent de faim dans le nid en raison de la concurrence créée par le petit parasite, beaucoup plus efficace pour quémander et obtenir de la nourriture), la pie continue de le soigner et de le nourrir même après qu'il a quitté le nid. Toutefois, lorsque le petit parasite est élevé avec les oisillons de la pie, ses parents adoptifs le reconnaissent après son départ du nid et cessent, dès lors, progressivement de le nourrir.

Deuxième découverte: le très jeune coucou abandonné ne meurt pas (comme c'est le cas du vacher luisant quand il cesse d'être nourri



par le carouge à ailes baies), mais se consacre à la recherche d'autres pies et parvient à se faire adopter par celles qui n'ont élevé que des petits parasites dans leur nid. Il s'agit du seul cas connu d'oisillons parasites qui, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du nid, développent une adaptation distincte du mimétisme leur permettant d'éviter d'être reconnus par les hôtes.

Si les relations coévolutives entre les parasites de couvée et leurs hôtes se retrouvent bien à toutes les étapes du cycle de reproduction, l'existence de stratégies défensives à un stade donné pourrait faciliter ou entraver l'évolution de ce type de défense au niveau des étapes postérieures. Ainsi, chez les espèces qui ont développé une bonne capacité de reconnaissance des œufs, il semblerait qu'on ne puisse s'attendre à une même capacité en matière de reconnaissance des petits ou des jeunes qui ont pris leur envol. En revanche, si l'hôte n'a développé de défenses totalement efficaces à aucun de ces stades, cela pourrait favoriser chez lui l'évolution de défenses à n'importe quelle étape du cycle de reproduction.

Les futures recherches apporteront certainement de nouvelles informations sur la relation coévolutive qui s'établit entre les parasites de couvée et leurs hôtes. Les chercheurs se sont lancé de nombreux défis, parmi lesquels celui d'analyser plus en profondeur cette course aux armements, au-delà de la phase d'incubation, et de comprendre le rôle que joue la physiologie dans la régulation des stratégies parasitaires et des défenses de l'hôte.

Enfin, soulignons que les coévolutions entre les parasites de couvée et les hôtes font preuve d'un étonnant parallélisme, non seulement entre des oiseaux très distants les uns des autres sur le plan phylogénétique (comme *Clamator* et *Molothrus*), mais aussi entre des groupes taxonomiques aussi éloignés que les oiseaux, les poissons et les insectes. Aussi, une grande partie des conclusions auxquelles conduisent les recherches sur les oiseaux sont extensibles à d'autres systèmes hôte-parasite. ■

Un jeune coucou geai (*Clamator glandarius*, à gauche) est nourri par sa principale espèce hôte, la pie bavarde (*Pica pica*, à droite). Le petit du parasite est nourri par l'hôte même après avoir quitté le nid, bien que le parasite et l'hôte ne se ressemblent pas.

BIBLIOGRAPHIE

M. Soler, **Avian Brood Parasitism. Behaviour, ecology, evolution and coevolution**, Springer, 2017.

M. Soler, **Long-term coevolution between avian brood parasites and their hosts**, *Biological Reviews*, vol. 89(3), pp. 688-704, 2013.

W. E. Feeney et al., **The frontline of avian brood parasite-host coevolution**, *Animal Behaviour*, vol. 84(1), pp. 3-12, 2012.

R. M. Kilner et N. E. Langmore, **Cuckoos versus hosts in insects and birds: adaptations, counter adaptations and outcomes**, *Biological Reviews*, vol. 86(4), pp. 836-852, 2011.

N. B. Davies, **Cuckoos, Cowbirds and Other Cheats**, T & AD Poyser, 2000 (réimp. 2011).

L'ESSENTIEL

> Depuis fin 2020, la France a autorisé l'utilisation du cannabis pour le traitement de douleurs intenses, dans le cas de diverses pathologies graves.

> C'est surtout le THC, la molécule la plus active de la plante, qui est utile en thérapie. Les récepteurs cannabinoïdes sur lesquels le THC se fixe

existent dans le cerveau et la moelle épinière, notamment le long du circuit de la douleur.

> Les effets du THC se couplent à ceux de la morphine, de sorte que le cannabis représente certainement un traitement améliorant le bien-être des patients qui souffrent intensément.

L'AUTEUR



BERNARD CALVINO
professeur d'université honoraire
en neurophysiologie et ancien
membre du conseil scientifique
de l'institut UPSA de la douleur

Cannabis: l'antidouleur du futur?

Depuis octobre 2020, un décret français autorise enfin l'utilisation du cannabis à des fins thérapeutiques. Reste à bien comprendre comment il exerce son action antalgique et anti-inflammatoire pour l'utiliser de la façon la plus efficace, notamment en combinaison avec la morphine.

O n'y est: le 9 octobre 2020, le ministère de la Santé a enfin publié le décret autorisant l'usage du cannabis à des fins thérapeutiques, strictement contrôlées et limitées. Après une trentaine de pays dans le monde, dont les Pays-Bas, l'Allemagne, l'Angleterre et l'Espagne, la France va permettre à des milliers de patients souffrant de maladies graves de tester le cannabis; l'expérimentation débutera en 2021 auprès de 3000 personnes présentant des douleurs insoutenables non atténuées par les traitements classiques. C'est le cas notamment dans certaines formes d'épilepsie, dans les douleurs chroniques dites « neuropathiques », dans les cancers et les effets secondaires des chimiothérapies, et chez les sujets séropositifs ou atteints de sclérose en plaques.

Mais on ne pourra toujours pas fumer du cannabis... Les médicaments – importés, car cultiver et commercialiser du cannabis restent interdits en France – se présenteront sous forme d'huiles, de gélules et de fleurs séchées,

contenant des doses contrôlées de THC, ou tétrahydrocannabinol, la principale substance active du cannabis. Mais que sait-on vraiment des effets du cannabis sur notre organisme et notre cerveau?

421 MOLÉCULES DANS LE CANNABIS

Le cannabis tel qu'on le connaît aujourd'hui, celui que l'on fume, est un mélange de feuilles séchées et de cœurs de fleurs de la plante *Cannabis sativa*, c'est-à-dire une association complexe de multiples molécules biologiquement actives. En effet, sa composition varie autant que celle de n'importe quelle plante en fonction de l'environnement (dont le milieu de culture auquel la plante s'adapte très facilement) et de la souche génétique. On peut ainsi extraire du cannabis jusqu'à 421 composés chimiques, dont 61 sont des cannabinoïdes à proprement parler (pour le chimiste, ce sont des terpènes à 21 atomes de carbone, ainsi que leurs acides carboxyliques et analogues qui n'existent dans aucune autre plante).