

bioluminescence commence au-dessus d'un seuil et augmente ensuite avec le cisaillement.

Restait à connaître le cisaillement à la surface d'un dauphin. Les chercheurs ont alors modélisé le corps d'un dauphin comme un ellipsoïde allongé six fois plus long que large, puis ils ont simulé l'écoulement à une vitesse fixée autour de cette forme. Ils ont déterminé l'épaisseur de la couche limite, la mince pellicule qui entoure le dauphin et où la vitesse du flot diminue notablement. Selon ces simulations et pour des vitesses de flot comprises entre deux et huit mètres par seconde, le cisaillement près de la surface du dauphin modélisé est toujours supérieur au seuil de bioluminescence.

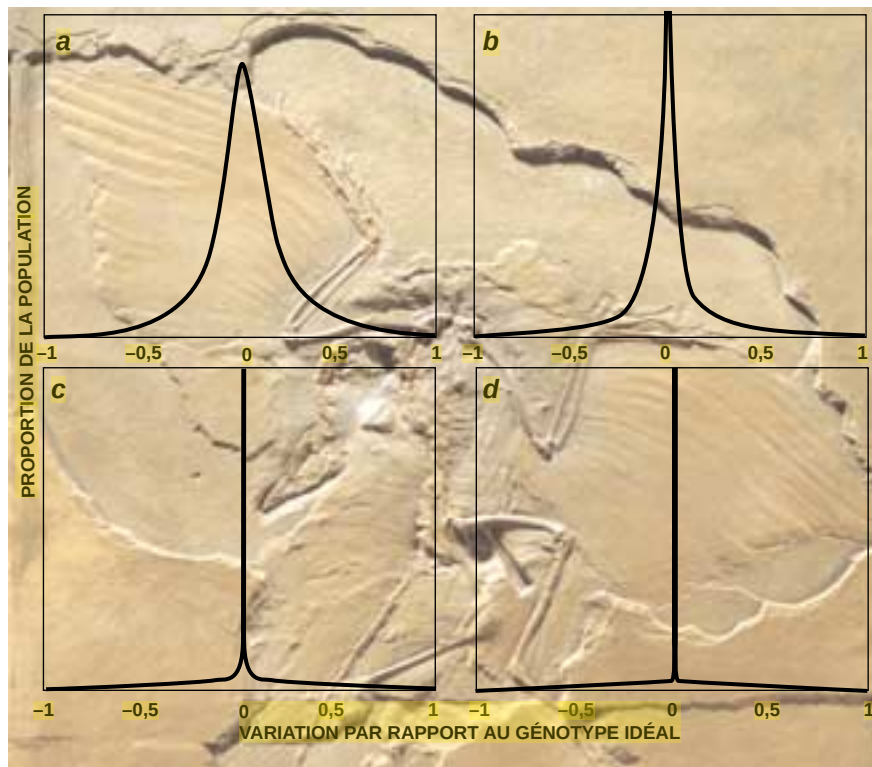
Des films de dauphins nageant près de bateaux ont révélé des phénomènes de bioluminescence tout le long de leur corps, excepté près de leur bosse et des bords avant des nageoires pectorales et dorsale. Ce résultat peut paraître paradoxal, car c'est précisément à l'avant des nageoires que le cisaillement est maximal. La raison en est sans doute que, dans ces régions, la couche limite est très mince et contient trop peu de micro-organismes luminescents stimulés.

Habituellement, on visualise l'écoulement hydrodynamique autour des bateaux grâce à des colorants dans des bassins artificiels. Avec les dinoflagellés, les hydrodynamiciens ont trouvé une visualisation naturelle du flot autour des grands mammifères marins : la bioluminescence est maintenant un outil de recherche.

Mutations interdites

Les gènes qui déterminent beaucoup de caractères n'évolueraient pas sur de très longues périodes.

Tous les caractères d'un organisme évoluent-ils constamment ? La plupart des généticiens des populations le pensent, mais Günter Wagner, de l'Université Yale, fait partie d'une minorité de biologistes qui ont un point de vue plus nuancé : même si de nombreux caractères sont hautement variables, certains semblent être fixés dans des groupes d'espèces qui descendent d'une souche commune. Par exemple, la notocorde, première ébauche de la colonne vertébrale chez les embryons des vertébrés, est identique dans les diverses espèces du groupe. Les protagonistes du débat semblaient irrés-



Un nouveau modèle donne la répartition des mutations d'un gène dans une population, en prenant en compte la possibilité qu'un gène contrôle plusieurs caractères. Les courbes «en cloche» indiquent que des génotypes mutants regroupés autour de l'«idéal» théorique (repéré par le 0 de l'axe des abscisses) sont fortement représentés : c'est le cas si le gène détermine un (a) ou deux (b) caractères. En revanche, pour trois (c), quatre (d) caractères déterminés et au-delà, le «pic» signifie qu'une très forte majorité de la population possède le génotype le mieux adapté, et les génotypes mutants disparaissent. Le degré de variation entre deux génotypes est mesuré par une échelle continue qui décrit la proportion d'ADN modifié.

conciliables jusqu'à ce que, récemment, un résultat mathématique de génétique des populations appuie l'hypothèse de la fixation de certains caractères.

L'évolution biologique résulte d'une évolution du patrimoine génétique des organismes. Des variations d'un gène apparaissent accidentellement lors de mutations génétiques. Le plus souvent, elles sont éliminées dans les générations suivantes, mais elles subsistent parfois à long terme, notamment lorsqu'elles favorisent une meilleure adaptation au milieu naturel. Par exemple, des cafards résistants aux insecticides se reproduiront plus et transmettront la mutation qui confère cette résistance. L'équilibre entre mutations et sélection naturelle qui s'établit ainsi conduit, dans une population, à la présence d'un ou de plusieurs variants de chaque gène. Les différences entre individus, pour un même caractère, sont dues à l'existence de multiples variants du ou des gènes qui le déterminent (par exemple la couleur des yeux), ou bien à l'environnement, ou à leur effet combiné (cas de la taille d'un individu).

Les biologistes étudiant ces mécanismes élémentaires considéraient jusqu'à présent qu'ils ne dépendaient pas de

la complexité des organismes. Pourtant, dans l'autre camp, l'Autrichien Rupert Riedl proposait dès les années 1970 que le degré de complexité des organismes était responsable de la fixation de certains caractères, comme dans l'exemple de la notocorde. La «complexité d'un organisme» est la complexité des réseaux génétiques : certains gènes déterminent plusieurs caractères. Par exemple, quand on change le gène qui code une protéine, le développement ou le fonctionnement de toutes les parties de l'organisme où cette protéine intervient sont modifiés. R. Riedl supposait que plus un gène accumule de «responsabilités», moins la conservation d'une mutation est probable : la mutation ne subsiste que si les avantages qu'elle procure l'emportent sur les inconvénients. Si les inconvénients sont excessifs, le variant le «mieux adapté» (c'est-à-dire le plus favorable) du gène se fixe-t-il pour de nombreuses générations dans sa forme la mieux adaptée ?

Encore récemment, cette notion de «génotype le mieux adapté» (le génotype est l'ensemble de l'information génétique portée par les gènes) était généralement mal décrite par les modélisations mathématiques de l'évolution. Les

biologistes avaient construit leurs modèles, tenant compte de mutations accidentelles et de la sélection naturelle, afin de calculer la répartition d'équilibre, dans une population, des divers variants d'un même gène (on parle aussi de différents génotypes même quand on ne s'intéresse qu'à un gène précis). Avec ces modèles, ils obtenaient, au lieu d'un génotype dominant, tout un groupe de génotypes voisins rassemblés autour d'une moyenne, l'optimum théorique.

Toutefois ces modèles tenaient rarement compte du fait que de nombreux

gènes déterminent plusieurs caractères. Le physicien David Waxman et le biologiste Joel Peck, de l'Université du Sussex, proposent un modèle mathématique analogue, mais ils introduisent la possibilité pour un gène d'agir sur plusieurs caractères. Ils montrent qu'à partir d'un nombre limite de caractères déterminés par un gène, celui-ci est fixé (ce nombre limite dépend des données du calcul : il est égal à trois dans le cas présenté sur la figure, mais il diffère selon les cas). Ainsi un génotype particulier est fortement représenté dans la population, tandis que les

génotypes voisins disparaissent quasiment. C'est ce que l'on observe pour les gènes codant plus de deux caractères : seul le génotype «idéal» est fortement représenté. En revanche, pour les gènes commandant seulement un ou deux caractères, les génotypes sont regroupés autour de l'optimum théorique, mais ils ne sont pas confondus avec lui (voir la figure). Ce résultat pourrait expliquer pourquoi de nombreuses protéines varient très peu à l'intérieur d'une même population, et pourquoi certaines protéines n'ont pas changé depuis plus de cent millions d'années !

Vocalises de grenouille

À l'époque de la reproduction, les mâles et les femelles d'amphibiens anoures, c'est-à-dire principalement de grenouilles, de crapauds et de rainettes, se rassemblent autour d'une mare, d'un ruisseau, d'un torrent ou, pour les espèces dont le développement ne nécessite pas un milieu aquatique, sur une branche ou près d'un terrier. Le rendez-vous nuptial est fixé par les manifestations sonores des mâles : coassant régulièrement, le plus souvent la nuit, ils sont repérés par les femelles de la même espèce, qui les rejoignent sur leur site d'appel. Les herpétologues admettaient que seuls les mâles chantent et que les femelles se taisent. Toutefois, nous avons étudié une grenouille mélanésienne, *Platymantis vitiensis*, en captivité, et découvert une exception au mutisme généralement observé chez les femelles de batraciens.

Platymantis vitiensis est une petite grenouille arboricole des forêts humides de l'archipel des Fidji, dans l'océan Pacifique. Elle vit cachée dans la végétation qui borde les cours d'eau. Elle présente des comportements rares chez les amphibiens anoures : la fécondation est interne et la ponte a lieu après l'accouplement ; contrairement aux femelles d'autres espèces qui abandonnent leurs œufs, la femelle de *Platymantis vitiensis* les surveille et les protège ; les œufs se développent sans passer par un stade de têtard aquatique. À cette liste de caractères spécifiques, il faut désormais ajouter le chant de la femelle.

Nous avons d'abord enregistré l'appel sexuel du mâle, perçu par une oreille humaine comme un chant doux et faible, audible à deux ou trois mètres de distance, constitué d'une trentaine de notes brèves, sifflées, légèrement chuintées. Il est composé de trois parties qui diffèrent par leur rythme d'émission.

Une des femelles de l'élevage chanta quatre mois après la mort du mâle avec lequel elle partageait un terrarium. Les notes étaient aussi sif-

flées et brèves, mais, contrairement à celles du mâle, elles étaient émises par séries de 12 environ, lentement et régulièrement. Elles étaient composées de fréquences plus aiguës que celles du mâle. Nous avons ainsi identifié un dimorphisme des signaux sonores permettant, probablement, la reconnaissance des sexes.

Le chant de la femelle de *Platymantis vitiensis* est un appel sexuel : cette vocalisation, qui n'a pas les propriétés d'un cri agressif, ni celles d'un cri de détresse, n'est jamais produite dans les circonstances de la défense d'un territoire et ne nécessite pas la présence d'un mâle.

Par ailleurs, une équipe de biologistes de l'Université de New York a récemment découvert une activité sonore chez une femelle de *Xenopus laevis*, une grenouille qui se reproduit dans les mares turbides de l'Afrique australe. Cette espèce est remarquablement adaptée à la vie aquatique. Elle n'a pas de cordes vocales : les sons qu'elle émet sous l'eau résultent du choc de deux cartilages du larynx. L'équipe américaine a décrit un signal sonore produit par la femelle en réponse à l'appel sexuel du mâle. À l'écoute de cette émission sonore, le mâle s'agite et modifie son appel. Les deux individus engagés alors une sorte de duo qui leur permet de se retrouver dans l'eau trouble et de s'assurer que la grenouille rencontrée appartient bien à la même espèce et qu'elle est du sexe opposé.

Ainsi, le chant des femelles de batraciens, longtemps ignoré des herpétologues, semble nécessaire à la reproduction de ces deux grenouilles dont la morphologie, les comportements et l'habitat diffèrent notablement. Sans doute, beaucoup de grenouilles femelles chantent-elles ; il reste à identifier ces chants, à les analyser, à les décrire et à en déterminer le rôle.

Jérôme SUEUR
et Renaud BOISTEL
École pratique des hautes études, Paris.



Contrairement aux femelles d'autres espèces de grenouilles, la femelle de *Platymantis vitiensis* chante pour appeler le mâle.