

Pourquoi les spermatozoïdes et les ovules sont-ils si variés ? Les biologistes commencent à décrypter les mécanismes qui favorisent cette diversité.



Spermatozoïdes une étonnante diversité

Oufs au petit déjeuner, promenade dans un parc floral où butinent des abeilles, baignade dans l'océan où partout frayent des animaux à fécondation externe, tels les oursins et les ormeaux... Que nous le voulions ou non, nous sommes cernés de spermatozoïdes et d'ovules. Et pour cause : la reproduction sexuée est omniprésente dans le monde animal ou végétal. En particulier, plus de 90 pour cent des vertébrés se reproduisent par voie sexuée. En fait, ce type de reproduction est un moteur essentiel de la diversification des organismes au fil de leur évolution. Les pressions de sélection sexuelle favorisent l'émergence de multiples stratégies reproductives qui, aux côtés de la sélection naturelle, augmentent la biodiversité. Cela se traduit notamment par une grande variabilité des gamètes – les cellules reproductrices – d'une espèce à l'autre ou au sein d'une même espèce.

Depuis longtemps, les biologistes s'intéressent à la diversité des systèmes de reproduction et à l'influence de la sélection sexuelle sur l'évolution des espèces. En par-

L'ESSENTIEL

- Les cellules sexuelles – les gamètes – varient d'une espèce à l'autre ou au sein d'une espèce.
- Les gènes liés à la reproduction sont parmi les plus rapides à évoluer.
- Ces changements ont contribué à la formation de nouvelles espèces.
- L'étude des gamètes à l'aide des techniques de la génomique et de la protéomique aide à comprendre par quels mécanismes ils se sont diversifiés.

© Visuals Unlimited/Corbis

ticulier, avec les progrès de la génomique (l'étude des génomes) et de la protéomique (l'analyse de l'ensemble des protéines d'une cellule, d'un tissu ou d'un organisme), ils étudient depuis une dizaine d'années l'évolution du génome et des protéines produites par les gamètes, ainsi que la composition protéique du liquide séminal dans lequel se déplacent les spermatozoïdes. Ils ont ainsi observé que les gènes de la reproduction sont ceux qui évoluent et se diversifient le plus vite. Ils espèrent aussi, en repérant des protéines impliquées dans les interactions spermatozoïde-ovule et qui auraient coévolué, et en étudiant leur rôle dans la reproduction, préciser les mécanismes par lesquels la sélection sexuelle influe sur l'évolution.

Les questions sont nombreuses : pourquoi les caractéristiques de la reproduction sexuée évoluent-elles ? Pourquoi y a-t-il plus de spermatozoïdes que d'ovules ? Comment la multiplicité des partenaires sexuels agit-elle sur l'évolution des spermatozoïdes et des ovules ? Pourquoi une

telle diversité des gamètes ? Si l'on est encore loin de comprendre l'ensemble des mécanismes par lesquels la reproduction sexuée agit sur l'évolution, plusieurs pistes se dessinent. Ces recherches sont vastes et s'intéressent tant à l'anatomie et à la physiologie qu'aux comportements. Nous examinerons ici les hypothèses concernant la diversité des gamètes et de leurs modes d'interaction.

Chaque gamète contient la moitié de l'information génétique nécessaire pour engendrer un individu. Chez l'homme, un gamète comporte 23 chromosomes, dont l'un est le chromosome sexuel (chromosome X

dans les ovules et chromosome X ou Y dans les spermatozoïdes). Chez la mouche du vinaigre, *Drosophila melanogaster*, les spermatozoïdes et les ovules contiennent trois chromosomes non sexuels (dits autosomes) et un chromosome sexuel X ou Y, et c'est la proportion de chromosomes X par rapport aux chromosomes autosomes qui détermine le sexe de la progéniture. Spermatozoïdes et ovules ont donc, du point de vue de la transmission de l'information génétique, un rôle assez similaire. Néanmoins, ils diffèrent considérablement les uns des autres.

Un facteur pouvant influencer sur la dynamique d'une telle diversité est le milieu où

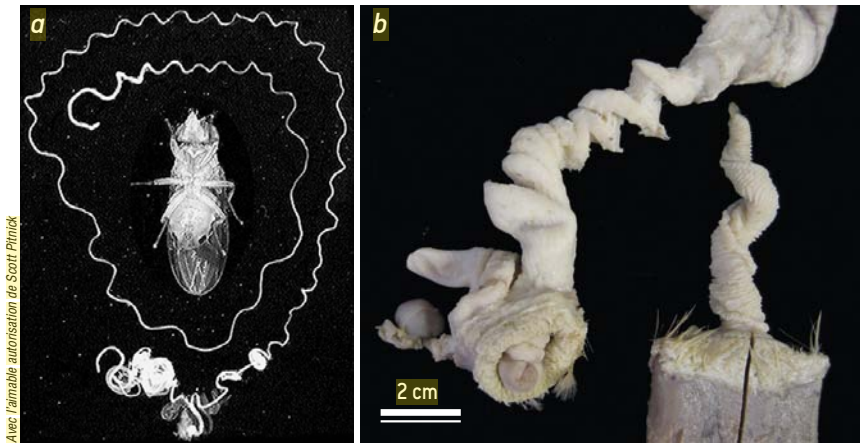
l'ovule est fécondé – à l'intérieur ou à l'extérieur du corps de la femelle. La fécondation interne, courante chez les mammifères, nécessite un moyen d'insémination par le mâle. En revanche, lors de la fécondation externe (ou frai chez les animaux), propre à de nombreux invertébrés marins et à

1. LES SPERMATOZOÏDES, comme les ovules, peuvent être très différents d'une espèce à une autre. De gauche à droite, observés en microscopie électronique à balayage (et en fausses couleurs), des spermatozoïdes de rhinocéros, d'oursin, d'humain, de rat, de panthère des neiges, d'étoile de mer et de rhéa, un oiseau proche de l'autruche.

et Ovules :

Katrina Claw



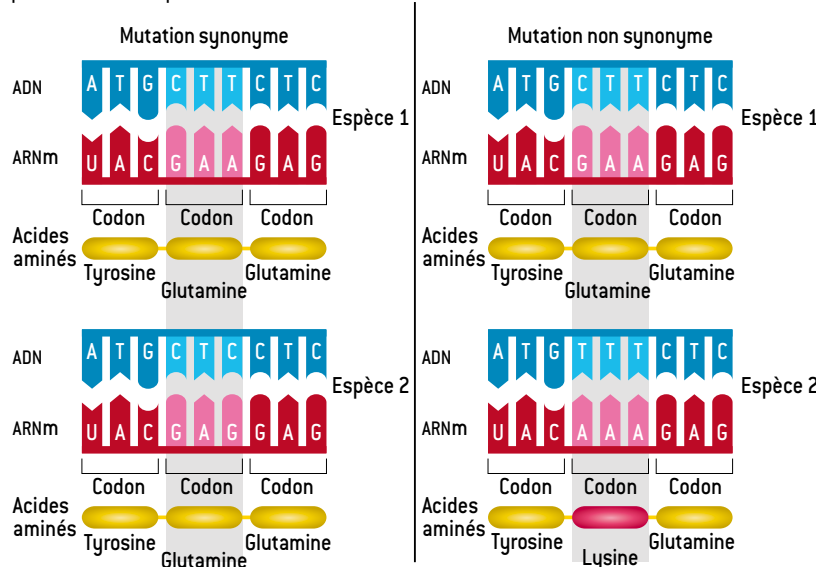


2. DEUX CARACTÈRES REPRODUCTEURS sélectionnés au fil de l'évolution. Le plus grand spermatozoïde connu (58 millimètres de longueur) est produit par la mouche des fruits *Drosophila bifurca* (a, une mouche *D. bifurca* mâle entourée de son testicule). Les voies génitales de la cane de Pékin (b, à gauche) ont une forme en hélice orientée dans le sens opposé de celui du pénis du mâle (b, à droite). La fécondation n'a lieu que si la femelle facilite la pénétration.

COMMENT ON MESURE L'ÉVOLUTION RAPIDE DES GÈNES

L'évolution rapide des gènes est détectée par l'analyse du nombre de mutations qui modifient la séquence des protéines codées. Les protéines sont constituées d'acides aminés, chacun codé dans les gènes par un ensemble de trois nucléotides (représentés ici par les lettres A, C, G, T) nommé codon. Copiée sous forme d'ARN messenger (une molécule elle aussi constituée de nucléotides, notés A, C, G, U), l'information contenue dans les gènes est transportée jusqu'à la machinerie de production des protéines. Chaque codon de l'ARN messenger impose l'acide aminé qui sera ajouté pour fabriquer la protéine correspondante.

Plusieurs codons peuvent coder un même acide aminé. Ainsi, si une erreur de copie modifie un nucléotide, elle n'entraîne pas toujours un changement de l'acide aminé (et donc de la protéine produite). Une mutation qui n'entraîne pas de modification de la protéine est dite synonyme (*ci-dessous à gauche*) : ici, le codon de l'ARN messenger a été modifié de GAA en GAG, mais ces codons codent tous deux l'acide aminé glutamine, et la protéine reste inchangée. À l'inverse, une mutation qui entraîne une modification de la protéine est dite non synonyme (*ci-dessous à droite*) : ici, le codon GAA a été modifié en AAA, ce qui change l'acide aminé glutamine en lysine, et donc la protéine. L'évolution rapide est détectée en comparant, entre deux espèces, les nombres de modifications synonymes et non synonymes. Si leur rapport est inférieur à un, la protéine évolue rapidement.



certaines plantes, les ovules et les spermatozoïdes sont libérés dans l'environnement. Dans ce mode de fécondation, les gamètes développent des caractéristiques uniques pour leur protection et leur dispersion.

Que la fécondation soit interne ou externe, les différences observées sont de divers types. La plus flagrante concerne la taille et le nombre des gamètes. De façon générale, les femelles ne libèrent que quelques centaines d'ovules au cours de leur vie, tandis que les mâles produisent des spermatozoïdes en abondance. Un homme éjacule 200 à 500 millions de spermatozoïdes – un nombre modeste à côté des 8 milliards produits par le porc d'élevage en une seule émission ! L'ovule, en revanche, est plus volumineux que le spermatozoïde (8000 fois plus chez l'homme) : non seulement il présente plusieurs barrières le protégeant de la polyspermie (l'entrée de plusieurs spermatozoïdes dans l'ovule), mais il contient aussi des ressources nutritives pour la cellule née de la fusion des deux gamètes (le zygote).

Des gènes qui évoluent plus vite que les autres

D'une espèce à l'autre, on observe aussi une grande diversité de tailles et de formes des spermatozoïdes (*voir la figure 1*) et des ovules. Par exemple, l'un des plus grands spermatozoïdes (deux millimètres) est produit par... la mouche du vinaigre. Le record est détenu par une espèce apparentée, *Drosophila bifurca*, dont le spermatozoïde mesure 58 millimètres (*voir la figure 2a*). Le spermatozoïde de *D. bifurca* est 1000 fois plus long que celui de l'homme. Comment des spermatozoïdes et des ovules, impliqués dans la réalisation d'une fonction bien établie – la fécondation – ont-ils acquis une telle disparité de formes au cours de l'évolution ?

Les gamètes sont constitués de différentes molécules, dont les protéines codées par les gènes qui s'y expriment. Des modifications de ces protéines au fil du temps peuvent conduire à la séparation d'une population unique en deux espèces distinctes. Les protéines sont constituées d'acides aminés, chacun étant codé par une combinaison de trois nucléotides, les constituants des gènes. La modification d'un nucléotide peut suffire à changer l'acide aminé recruté et, par là même, la protéine synthétisée. Les gènes qui évoluent vite sont associés à des fréquences élevées de modification des acides aminés.