

et la conductivité est nulle ou presque: on a affaire à un coupe-circuit. À l'inverse, avec des périodes plus courtes, l'effet du condensateur devient négligeable au profit de la résistance.

MODÉLISER ÉLECTRIQUEMENT LE CORPS

Imaginons maintenant un tissu biologique plus complexe constitué de cellules (dont les cellules graisseuses) et de liquide interstitiel et supposons que le contenu en ions soit le même dans tous les fluides. En pesant ce tissu, nous déterminons la quantité totale de matière. Comme la graisse conduit très mal le courant, la mesure de la conductivité en continu ou à basse fréquence n'est sensible qu'à la quantité de fluide interstitiel (les cellules sont en coupe-circuit) tandis que la conductivité à haute fréquence indique la quantité totale de fluide, à la fois interstitiel et intracellulaire. Finalement, trois mesures (le poids et les deux types de conductivité) révèlent trois grandeurs: la masse de graisse, la masse de tissus non adipeux et la masse de l'eau entre les cellules (associée à la rétention d'eau).

Qu'en est-il pour le corps humain, plus complexe encore avec notamment la présence des os et sachant qu'en outre, d'un point de vue électrique, d'autres phénomènes interviennent? Par exemple, le champ électrique oriente les molécules d'eau, polaires, du liquide physiologique, ce qui a un effet électrique équivalent à celui d'un condensateur. Dans les faits, le principe reste le même: on mesure le poids de la personne, puis la conductivité électrique dans une gamme de fréquences afin de distinguer les différents effets physiques évoqués ci-dessus.

Dans les balances les plus simples, la conductivité est mesurée entre les deux pieds, ce qui correspond à un passage du courant dans les deux jambes et dans l'abdomen. On peut aussi trouver des dispositifs plus avancés reliés aux pieds et aux poings (voir la figure pages précédentes). Les mesures fournissent alors séparément des informations sur les quatre membres et le tronc.

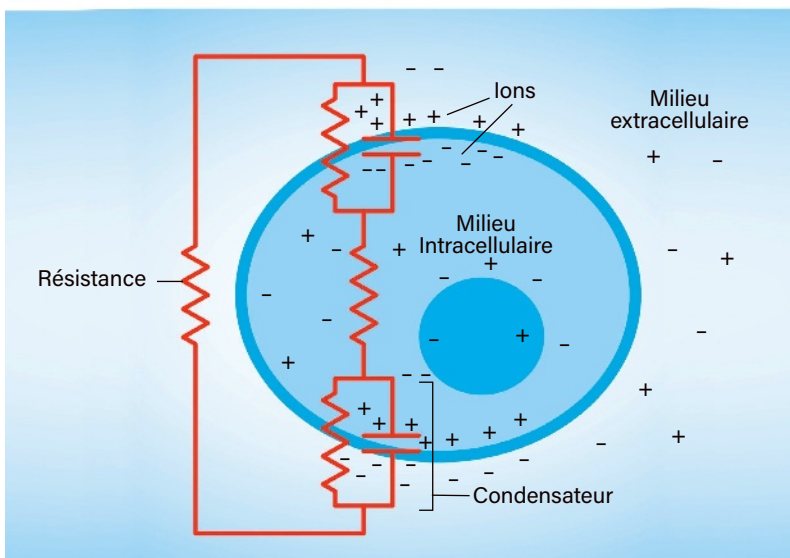
Dans la pratique, on indique aussi à l'appareil la taille de la personne, son âge et son sexe afin d'affiner l'estimation de la composition corporelle. Comment se comparent ces résultats avec ceux obtenus par d'autres méthodes physiques plus sophistiquées? Les mesures électriques donnent de très bons résultats pour la valeur moyenne des

quantités mesurées entre les différents individus d'un groupe. Pour une seule personne, en revanche, les valeurs obtenues sont moins précises que celles fournies par des mesures sophistiquées. Cependant, elles restent suffisantes pour évaluer la situation et déterminer ce qu'il importe de faire pour, par exemple, perdre du poids. La personne a-t-elle assez de muscles pour avoir un métabolisme suffisant pour brûler des graisses? Dans le poids total, quelle est l'importance relative de la graisse par rapport à celle de la rétention d'eau? Ou encore, comment se répartissent graisse viscérale et graisse superficielle?

Surtout, c'est pour le suivi que ces appareils ont un intérêt. Certes, les valeurs absolues données pour les différentes compositions ne sont pas précises à cause des spécificités morphologiques de chacun, mais ces spécificités n'évoluent pas. Aussi des mesures successives sur une même personne sont-elles donc particulièrement significatives. Elles indiquent alors parfaitement si la perte de poids observée résulte d'une perte de muscle ou de graisse. Ou bien à l'inverse si un poids qui se maintient est dû à un gain de muscle associé à une perte de graisse. Vous n'aurez plus d'excuses! À vous les pages... de Grèce. ■

LES CELLULES INFLUENCENT LE COURANT

Une cellule, délimitée par une paroi de part et d'autre de laquelle s'accumulent des ions, agit comme un condensateur monté en série avec une résistance. Selon la nature du courant, c'est l'effet de l'un ou de l'autre qui domine.



BIBLIOGRAPHIE

D. Miklavčič et al., **Electric Properties of Tissues**, in M. Akay (Ed.) Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering, John Wiley & Sons, 2006.

A. De Lorenzo et al., **Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review**, Journal of Applied Physiology, 1997.

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite
de biologie évolutive
à Sorbonne Université,
à Paris

LA CORNE DE LA DISCORDE

Si la classification des rhinocéros a si longtemps résisté aux biologistes de l'évolution, c'est à cause d'une sombre histoire de cornes...

Combien de cornes possède un rhinocéros ? La question peut paraître anodine. Pourtant, la réponse a longtemps fait de la classification des rhinocéros un casse-tête insoluble... jusqu'à récemment. Cette réponse est simple : sur les cinq espèces actuelles, certaines présentent une corne, d'autres deux. Mais tout se complique lorsque l'on regarde la distribution géographique de ces espèces. En Afrique, le rhinocéros blanc (*Ceratotherium simum*) et le rhinocéros noir (*Diceros bicornis*) possèdent deux cornes. Sur le continent asiatique, le rhinocéros indien (*Rhinoceros unicornis*) n'en présente qu'une. En revanche, les deux espèces des îles de la Sonde, en Indonésie, ne se ressemblent guère. Le rhinocéros de Java (*Rhinoceros sondaicus*) a une corne, tandis que celui de Sumatra (*Dicerorhinus sumatrensis*) en a deux. Ainsi, classer ces cinq espèces

suivant la distribution géographique ou le nombre de cornes ne donne pas le même résultat. Comment établir leur phylogénie ?

UNE CORNE, DEUX CORNES, TROIS HYPOTHÈSES

Trois hypothèses ont été avancées. Et toutes conduisent à une phylogénie distincte. En 2010, Pierre-Olivier Antoine, paléontologue à l'université de Montpellier, et ses collègues ont proposé l'hypothèse «corne», qui regroupe les deux rhinocéros africains avec celui de Sumatra. Fondée sur la morphologie, elle a reçu à l'époque l'appui de la génétique, puis de l'analyse des protéines de l'émail dentaire. Mais l'année dernière, avec d'autres collègues, Pierre-Olivier Antoine a cette fois défendu l'hypothèse géographique, qui place tous les rhinocéros d'Asie ensemble, en se fondant sur un examen morphoanatomique, de

La plupart de ses congénères vivent à Sumatra, en Indonésie, mais en 2012 quelques individus ont été découverts dans la province indonésienne de Kalimantan, sur l'île de Bornéo. Quelques-uns vivraient peut-être aussi au Myanmar.



Hervé Le Guyader
a récemment publié :
**Ma galerie
de l'évolution**
(Le Pommier, 2021).

EN CHIFFRES

80

Le rhinocéros de Sumatra est l'espèce la plus en danger. Sa population totale compte moins de 80 individus et a diminué d'au moins 80 % ces trente dernières années.

4

Mesurant jusqu'à 4 mètres de long et 1,8 mètre de haut au garrot, le rhinocéros blanc est le plus grand des rhinocéros vivants. Il pèse jusqu'à 3,5 tonnes et sa corne la plus longue a déjà atteint 1,5 mètre de long. Mais la licorne de Sibérie le dépassait : 5 mètres de long, 2,5 mètres au garrot, 4 à 5 tonnes, et une corne de 2 mètres...

65 MILLIONS

Les chevaux, tapirs et rhinocéros auraient divergé il y a environ 65 millions d'années, au moment de la crise Crétacé-Tertiaire, qui entraîna la disparition de nombreux organismes vivants, dont les dinosaures terrestres, les grands reptiles marins et 80 % des microorganismes marins.

Le rhinocéros de Sumatra est la plus petite des espèces actuelles de rhinocéros.

Comme tous les rhinocéros, celui-ci a une très mauvaise vue – heureusement compensée par une très bonne ouïe et un odorat très fin. Les rhinocéros africains, par exemple, ne distinguent pas les formes éloignées de plus de 20 mètres.



Rhinocéros de Sumatra
(*Dicerorhinus sumatrensis*)

Longueur: env. 2,4 à 3,2 m
Hauteur: de 1 à 1,5 m au garrot
Poids: env. 600 à 1000 kg

nouvelles analyses génétiques et la comparaison des séquences de collagène d'animaux actuels et éteints, une des rares protéines récupérables sur les fossiles. Entre-temps, cependant, Thomas Gilbert, de l'université de Copenhague, au Danemark, et ses collègues ont publié une analyse de l'ADN mitochondrial (contenu dans les mitochondries, les usines de production d'énergie des cellules) qui éloigne le rhinocéros de Sumatra de tous les autres en le plaçant comme groupe frère des quatre autres espèces. Comment distinguer la bonne hypothèse?

Ces conflits montrent que les caractères successivement utilisés sont à faible résolution, c'est-à-dire insuffisants pour

départager les hypothèses. Thomas Gilbert a donc rassemblé une équipe de choc, avec les chercheurs majeurs sur le sujet – dont Pierre-Olivier Antoine –, afin de trouver un ensemble de caractères de haute résolution permettant de construire une phylogénie fiable.

D'abord interrogée, la paléontologie a ajouté trois espèces fossiles du Pléistocène supérieur (entre 126 000 et 11 700 ans) à l'équation: la licorne de Sibérie (*Elasmotherium sibiricum*, une corne), le rhinocéros de Merck (*Stephanorhinus kirchbergensis*, deux cornes) et le rhinocéros laineux (*Coelodonta antiquitatis*, deux cornes). Toutes eurasiennes, mais elles aussi de situation phylogénique peu claire...

Puis, sachant que l'équipe de Donald Primerano, de l'université Marshall, aux États-Unis, venait de séquencer le génome du rhinocéros de Sumatra, l'équipe de Thomas Gilbert s'est tournée vers la phylogénomique, la classification fondée sur l'étude des génomes entiers. Elle a commencé par séquencer les génomes complets qui lui manquaient: ceux de deux rhinocéros actuels et des trois fossiles – une prouesse technique en soi. Puis, en ajoutant les génomes du cheval et du tapir comme groupe extérieur, elle a construit une phylogénie où, grâce au calibrage temporel fourni par les fossiles, elle a daté les spéciations.

Résultat: l'hypothèse géographique est privilégiée (voir l'encadré ci-contre). À partir d'un ancêtre vivant en Eurasie, la première spéciation, il y a 35 millions d'années, a donné naissance à la licorne de Sibérie, qui a peuplé une grande partie ouest de la Russie. Puis entre 16 et 15 millions d'années, à la fin du Miocène inférieur, au moment d'un optimum climatique très marqué (entre 17 et 14 millions d'années, la température était supérieure de 3 à 4°C à aujourd'hui), une diversification massive a porté deux espèces dans la partie sud de l'Afrique, tandis que les autres restaient en Eurasie. La paléontologie a finement documenté cette période, où nombre d'animaux – giraffidés, suidés (phacochères...), viverridés (civettes...) – ont immigré en Afrique, tandis que d'autres – singes, éléphants – émigraient vers l'Eurasie. Les rhinocéros laineux et de Merck ont alors envahi l'ensemble du continent, tandis que l'Asie du Sud-Est était le siège d'un peuplement spécifique dont a émergé une branche à une corne.

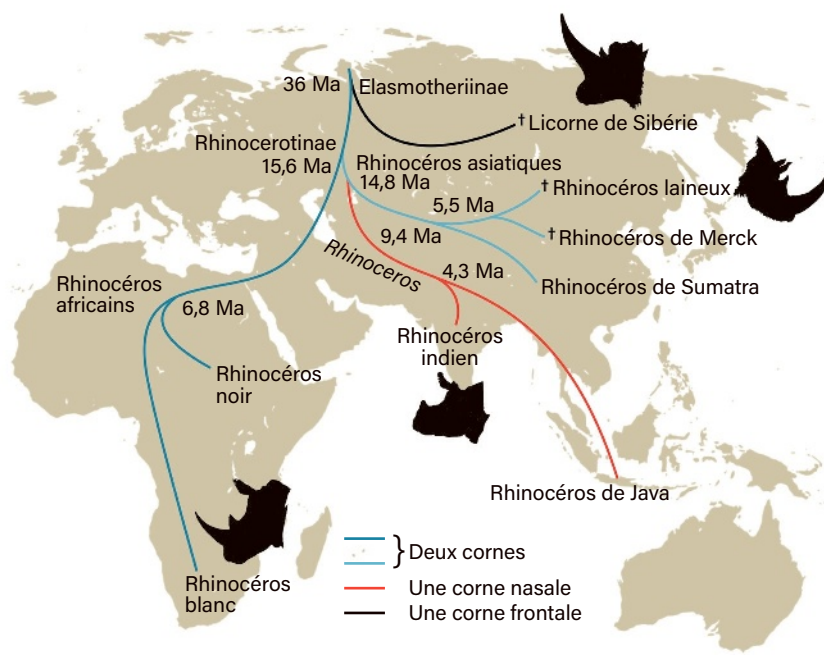
Cette phylogénie explique pourquoi il était si difficile auparavant de situer le rhinocéros de Sumatra. Il se trouve isolé si on n'inclut pas les animaux fossiles, or une telle situation peut donner lieu à des artefacts de reconstruction phylogénétique. De plus, une analyse fine des génomes a mis en évidence un flux de gènes entre espèces dû à des hybridations. On comprend alors que des phylogénies construites à partir de portions de génomes aient donné des arbres différents.

LA CONSANGUINITÉ N'EXPLIQUE PAS TOUT

Cerise sur le gâteau, comme souvent, le séquençage des génomes entiers a révélé des informations inattendues. D'abord, il a fourni une base pour évaluer la diversité génétique des rhinocéros éteints et actuels. Depuis longtemps, les généticiens constatent que la diversité génétique des rhinocéros actuels est bien basse, ce qui a été mis sur le compte de l'érosion des populations, qui aurait débouché sur une consanguinité importante. Mais les nouveaux résultats suggèrent que dès les espèces éteintes, la diversité génétique était faible dans la famille des rhinocéros comparée à d'autres herbivores et à plusieurs mammifères carnivores. Or, les populations d'herbivores étant plus importantes que celles des carnivores, on s'attend à une diversité génétique bien supérieure chez

L'HISTOIRE DES RHINOCÉROS

L'étude des génomes entiers des cinq espèces actuelles et de trois espèces éteintes de rhinocéros a permis de reconstruire l'histoire de cette famille. La licorne de Sibérie a une place à part, car elle est apparue isolée il y a environ 35 millions d'années (Ma). Puis trois clades majeurs ont émergé : il y a 15 millions d'années est apparu un clade comprenant les deux rhinocéros africains, comme groupe frère de tous les autres animaux d'Eurasie. Ces derniers se sont ensuite très vite partagés en deux nouveaux clades, le premier avec les espèces indienne et de Java du genre *Rhinoceros* (en rouge) et le deuxième avec le rhinocéros de Sumatra accompagné des deux autres espèces fossiles, les rhinocéros laineux et de Merck.



les premiers que chez les seconds. Ce résultat étonnant est important en biologie de la conservation, car il montre que le récent déclin des populations de rhinocéros a eu moins d'impact sur les aspects génétiques qu'on ne le pensait.

Ensuite, ô surprise, le séquençage des génomes a fourni l'explication d'une curiosité des rhinocéros, leur très mauvaise vue. En effet, l'analyse des génomes a mis en évidence des mutations du gène *IFT43*. Or la protéine que ce gène produit participe au transport intracellulaire de protéines le long des flagelles et des cils cellulaires. Quel rapport? Les cellules en cônes ou en bâtonnets de la rétine fonctionnent grâce à l'accumulation d'opsines – des protéines photoréceptrices – dans une partie ciliée. Mais ces dernières ne jouent leur rôle que si elles se lient à un chromophore, le rétinol, une forme de la vitamine A. Or sans transport fonctionnel le long des cils, le rétinol ne rejoint pas les opsines. Les déficiences de la protéine IFT43 des rhinocéros seraient vraisemblablement l'une des causes de leur déplorable vue. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Liu et al., **Ancient and modern genomes unravel the evolutionary history of the rhinoceros family**, *Cell*, 2021.

P.-O. Antoine et al., **A new rhinoceros clade from the Pleistocene of Asia sheds light on mammal dispersals to the Philippines**, *Zool. J. Linn. Soc.*, 2022 (en ligne le 22 mai 2021).

A. Margaryan et al., **Recent mitochondrial lineage extinction in the critically endangered Javan rhinoceros**, *Zool. J. Linn. Soc.*, 2020.