

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE**

NOUVELLE
FORMULE



FORMULE
INTÉGRALE
-41%



99€

FORMULE
PASSION
-27%



79€

FORMULE
DÉCOUVERTE
-25%



59€

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ OUI, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** POUR 1 AN,
JE CHOISIS MA FORMULE CI-DESSOUS :

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
12 n° de *Pour la Science* + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996

11A99E

99€
Au lieu de 183,44€*

☐ FORMULE **PASSION**
12 n° de *Pour la Science*
+ 4 Hors-Séries

PIA79E

79€
Au lieu de 123,44€*

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**
12 n° de *Pour la Science*

D1A59E

59€
Au lieu de 78,45€*

L'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

• Mon e-mail : (à remplir en majuscule)

@

J'accepte de recevoir les informations de *Pour la Science* ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

• Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

N° _____

Date d'expiration : _____ Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB) : _____

Signature obligatoire

* Par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/12/2017 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à *Pour la Science*. Photos non contractuelles.

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à l'université
Pierre-et-Marie-Curie, à Paris

L'ÉNIGME DES 7 VERTÈBRES

Pourquoi (presque) tous les mammifères ont-ils 7 vertèbres cervicales? Contrairement à ce que maints zoologistes ont longtemps cru, ce nombre n'apporte aucun avantage évolutif.

Os des membres, du crâne ou des ceintures reliant les membres à la colonne vertébrale... D'une espèce à l'autre, le squelette des mammifères actuels présente d'évidentes régularités, étudiées depuis plusieurs siècles par les médecins, vétérinaires et zoologistes. En particulier, la colonne vertébrale, qui abrite la moelle épinière, se compose de vertèbres réparties en cinq régions distinctes: cervicale, thoracique, lombaire, sacrée, caudale (voir l'encadré page 94). Chez l'homme, on compte 7 vertèbres cervicales (dont l'atlas et l'axis qui portent le crâne), 12 thoraciques munies d'une paire de côtes, 5 lombaires, 5 sacrées fusionnées en un os unique, le sacrum et, suivant les individus, 3 à 5 vertèbres caudales fusionnées en un coccyx.

Il n'échappe à personne que, chez les mammifères, le nombre total de vertèbres n'est pas identique d'un animal à l'autre, étant donné l'extrême variabilité de la longueur de la queue, et donc du nombre de vertèbres caudales. De plus, suivant les animaux, les vertèbres lombaires varient de 5 à 7, les thoraciques de 12 à 14. Mais,

comme l'a remarqué le naturaliste français Louis Daubenton au XVIII^e siècle, le nombre de vertèbres cervicales chez les mammifères reste fixé à 7. Il proposa même d'en faire une loi, jusqu'au moment où, désespéré, il découvrit que les lamarins (genre *Trichechus*) n'en ont que 6! Exit la loi de Daubenton, que les paresseux violent également: les unauas (à deux griffes sur les pattes antérieures, genre *Choloepus*) ont eux aussi 6 vertèbres cervicales, tandis que les aïs (à trois griffes, genre *Bradypus*) en présentent 9...

Regardons d'autres vertébrés tétrapodes. Chez les oiseaux, le nombre de cervicales varie entre 11 et 25. Ainsi, l'allongement du cou, comme chez le cygne ou le héron (*ci-contre à droite*), est dû à une augmentation du nombre de vertèbres. Le record, semble-t-il, est détenu par un plésiosaure marin qui vivait il y a environ 73,5 millions d'années, l'élasmosaure *Albertonectes vanderveldei*, avec 76 vertèbres cervicales! Une telle structure osseuse procure une souplesse étonnante au cou, souplesse qui fait défaut à la girafe, dont la tête ne repose que sur 7 vertèbres cervicales (*ci-contre, à gauche*). Ainsi, la comparaison avec les autres tétrapodes montre que, chez les

Pour amener le sang au cerveau, la pression artérielle de la girafe est deux fois supérieure à celle de l'homme. Des valvules empêchent le sang d'affluer au cerveau quand elle baisse la tête.

Comme la plupart des mammifères, dont l'homme, la girafe ne compte que 7 vertèbres cervicales, ce qui explique la raideur de son cou. Chaque vertèbre mesure environ 40 centimètres...



Girafe (*Giraffa camelopardalis*)
Taille: env. 5,7 m (du sol aux cornes)
Longueur du cou: env. 2,4 m



Héron pourpré (*Ardea purpurea*)
Taille: env. 90 cm (du bec à la queue)
Longueur du cou: env. 40 cm



EN CHIFFRES

25

vertèbres cervicales articulent l'harmonieux cou du cygne. C'est le maximum observé chez les oiseaux. Le minimum est trouvé chez les perroquets, avec 11 cervicales.

35,5 cm

C'est la longueur du cou de l'éléphant d'Asie dont le squelette est exposé dans la galerie d'anatomie comparée du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Le spécimen, qui mesure par ailleurs 2,57 mètres du prémaxillaire au bassin, est petit – sans doute une éléphante adulte.

7 m

C'est la longueur du cou d'*Albertonectes vanderveldei*, un plésiosaure qui vivait au Canada il y a quelque 73,5 millions d'années. Avec 76 vertèbres cervicales (sur 132), il détient le record du plus long cou articulé.

7 vertèbres cervicales à 6 ou à 9 ? La solution a été proposée à la fin du XIX^e siècle par l'un des pères de la génétique, le Britannique William Bateson. La différence essentielle entre une vertèbre cervicale et une thoracique est que cette dernière porte une paire de côtes. Bateson propose donc que le passage de 7 vertèbres cervicales à 6 ne soit pas dû à un changement du nombre total de vertèbres (élimination d'une cervicale), mais à la transformation d'une cervicale en thoracique, par adjonction d'une paire de côtes à la dernière cervicale, qui prend alors l'aspect d'une thoracique.

Bateson a appelé un tel changement une homéose, que l'on peut définir ainsi : l'homéose est l'apparition d'un caractère « normal » (une vertèbre avec des côtes) à un endroit « anormal » (à la septième place de la colonne vertébrale). Le raisonnement s'applique au passage de 7 vertèbres cervicales à 9 : cette fois, on a des vertèbres cervicales là où l'on attendrait des thoraciques.

UNE PAIRE DE CÔTES EN PLUS

Des cas de telles variations homéotiques ont été décrits chez l'homme. Certains individus naissent avec « une paire de côtes supplémentaire », comme on le disait auparavant, que l'on peut traduire par « une transformation homéotique de la septième cervicale en thoracique ». Un tel changement est associé à des pathologies : ces côtes surnuméraires compriment les nerfs du plexus brachial, à la base du cou, et l'artère subclavière, entraînant des symptômes dégénératifs sévères du bras.

En se penchant sur cette curiosité anatomique, les médecins se sont rendu ➤

mammifères, la conservation du nombre de vertèbres cervicales est une réelle originalité, qui demande explication.

Première idée qui vient à l'esprit : avoir 7 vertèbres cervicales apporterait un avantage, qui aurait été sélectionné au fil de l'évolution. Nombre de zoologistes se sont creusé la tête pour trouver un tel avantage. En réalité, ils en ont trouvé un pour... les 9 vertèbres cervicales des aïes qui, grâce à elles, réalisent des mouvements de la tête de 270°, tout comme la chouette chevêche, l'attribut d'Athéna.

Deuxième idée, plus élaborée : examiner la variabilité du caractère. Comment interpréter biologiquement le passage de

Le squelette du héron pourpré comporte 16 vertèbres cervicales, ce qui confère à son cou une grande souplesse. L'oiseau se sert ainsi de son bec comme d'une lance projetée par son cou.

> compte qu'elle est corrélée à d'autres pathologies plus graves: des cancers précoces de l'enfant. Une première analyse de la fin du siècle dernier montre que 33% des nourrissons atteints d'un neuroblastome présentent des côtes surnuméraires. C'est pourquoi, en 1999, une équipe médicale néerlandaise a radiographié systématiquement les nouveau-nés et les fœtus décédés à l'hôpital d'Amsterdam. Les résultats sont implacables: 78% des fœtus pour lesquels des côtes surnuméraires avaient été détectées sont morts avant la naissance, et 83% avant l'âge de un an. De plus, 25% des cas portant des côtes surnuméraires avaient développé des tumeurs. De leurs données, les chercheurs ont déduit que des enfants avec des côtes surnuméraires ont 12% de risque de développer un cancer, soit 120 fois plus que la population générale.

UN GÈNE, PLUSIEURS TRAITS

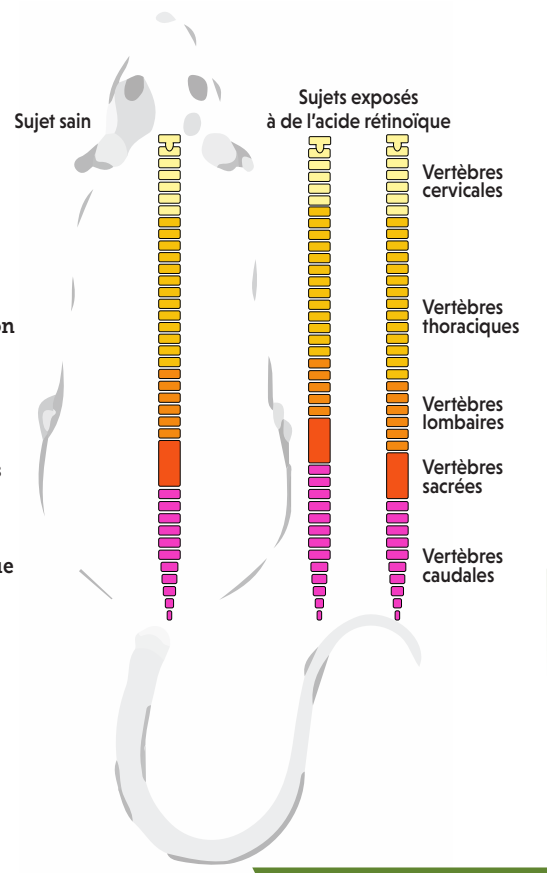
Cette étude montre où est la sélection: elle ne porte pas sur le nombre de vertèbres, mais sur la susceptibilité aux cancers précoces. Il s'agit maintenant de comprendre comment ces deux caractères *a priori* indépendants se trouvent corrélés. C'est ici que l'analyse de Bateson est fondamentale: une paire de côtes supplémentaire, c'est une transformation homéotique. Or la génétique du développement de ces dernières décennies a montré qu'une telle transformation est le résultat d'une mutation de gènes que l'on a qualifiés pour cela d'homéotiques, les gènes *Hox*. En effet, on sait depuis plus de vingt ans que l'ordonnance du corps d'un animal à symétrie bilatérale suivant son axe antéropostérieur dépend du profil d'expression de différents gènes *Hox* (voir l'encadré ci-dessus).

Par ailleurs, dans les années 1990, diverses études ont montré que les gènes *Hox* sont aussi impliqués dans la prolifération de lignées cellulaires chez l'homme et la souris: pas moins de 20 gènes *Hox* interviennent ainsi dans la prolifération et la différenciation de cellules souches sanguines. De plus, des changements dans l'expression de certains de ces gènes sont corrélés à l'apparition de différents types de cancer, en particulier des neuroblastomes et des leucémies.

On a ici affaire à un cas de «pléiotropie», une caractéristique génétique connue depuis bien longtemps. Forcé en 1910 par le zoologiste allemand Ludwig Plate, ce terme désigne le fait qu'un gène peut déterminer plusieurs caractères, qui apparaissent alors corrélés – dans notre

DES GÈNES HOX AUX VERTÈBRES

En 1991, des chercheurs de l'institut Max-Planck de Göttingen ont réussi à changer les limites d'expression de certains gènes *Hox* en exposant des embryons de souris à des doses massives d'acide rétinolique. Ces modifications étaient accompagnées, quelques jours plus tard, de transformations homéotiques: chez certains embryons, par exemple, une vertèbre cervicale était devenue thoracique, et le changement s'était répercuté jusqu'à la queue (au centre); chez d'autres, une lombaire s'était transformée en thoracique, et la modification s'était aussi répercutée (à droite). D'autres travaux ont ensuite confirmé que c'est bien la combinaison de gènes *Hox* activés qui spécifie le phénotype des vertèbres.



cas le nombre de vertèbres cervicales et le risque de développer un cancer.

On retrouve un thème cher de l'évolutionniste américain Stephen Jay Gould. Par le terme «programme adaptatif», il raillait ses collègues qui cherchaient obstinément la sélection ayant amené à tel ou tel caractère qui aurait contribué à une meilleure adaptation d'un organisme donné. En fait, il est inutile de chercher une adaptation derrière ce nombre mythique de 7 cervicales.

Pourquoi n'a-t-on pas l'équivalent chez les oiseaux? L'incidence des cancers y est bien moindre, pour des raisons encore obscures. Mais on sait que les cancers aviens sont surtout dus à des virus, l'exemple le plus connu étant celui du sarcome de Rous.

Naturellement, il convient aussi d'expliquer les exceptions. Une hypothèse est proposée pour les paresseux et les lamantins: ces derniers présentent un métabolisme basal très bas, allié à une activité réduite comparée à celle des autres mammifères. L'oxydation qui s'ensuit dans les cellules, altérant l'ADN, s'en trouverait diminuée, entraînant une faible susceptibilité aux cancers, ce que des études épidémiologiques semblent corroborer. Il n'y a pas d'études sur les paresseux, mais, sur 800 lamantins de la Caraïbe autopsiés, pas un seul n'a développé un cancer. ■

BIBLIOGRAPHIE

I. Varela-Lasheras *et al.*, **Breaking evolutionary and pleiotropic constraints in mammals: On sloths, manatees and homeotic mutations**, *EvoDevo*, vol. 2, article 11, 2011.

F. Galis *et al.*, **Extreme selection in humans against homeotic transformations of cervical vertebrae**, *Evolution*, vol. 60(12), pp. 2643-2654, 2006.

Y. Narita *et S. Kuratani*, **Evolution of the vertebral formulae in mammals: A perspective on developmental constraints**, *J. Exp. Zool.*, vol. 304B, pp. 91-106, 2005.

F. Galis, **Why do almost all mammals have seven cervical vertebrae? Developmental constraints, Hox genes, and cancer**, *J. Exp. Zool.*, vol. 285, pp. 19-26, 1999.