> (ou des portions susceptibles de présenter des mutations) en privilégiant les cichlidés du lac Victoria et de ses satellites, mais aussi ceux des bassins de drainage adjacents, c'est-à-dire du Nil supérieur, au nord, et du Congo, à l'ouest. Complété par des animaux venant du bassin versant est et des autres grands lacs, l'échantillonnage comptait 156 spécimens.

Cette très belle étude met en évidence un point capital, passé inaperçu: les cichlidés du lac Victoria sont le résultat d'une hybridation entre une lignée provenant du bassin du Nil et une autre, du bassin du Congo, et cette hybridation a joué le rôle de déclic pour l'évolution du bouquet d'espèces du lac Victoria.

UN ESSAIM D'HYBRIDATION

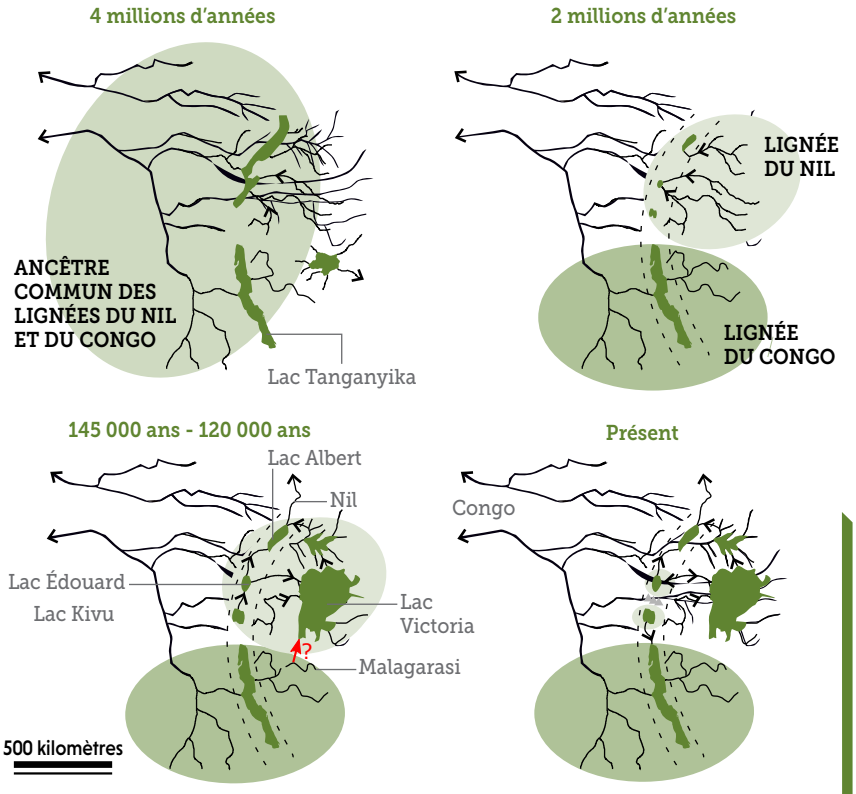
Cette hybridation explique une curiosité qui avait été incidemment citée dans la première analyse des génomes: les gènes prétendument dupliqués se ressemblent… un peu trop. Or quand un gène est dupliqué, une copie au moins évolue vite, allant même jusqu'à adopter un nouveau rôle. Avec l'hybridation, plus de problème: les différentes copies correspondent à une diversité ancestrale provenant d'une des lignées hybridées. Ainsi, il s'agit non pas de nouvelles copies soumises au jeu habituel de mutations et de sélections, mais de la mise en commun de gènes existants et donc déjà passés par ce crible. Tout peut donc aller très vite et fournir à l'animal hybride des gènes déjà testés chez un ancêtre.

De telles hybridations surviennent dans ce que les évolutionnistes appellent un essaim. Ce ne sont pas quelques individus qui sont entrés en contact, mais des populations entières provenant des deux lignées – Nil et Congo. Leur rencontre a produit un énorme brassage d'une diversité génétique déjà existante, laquelle s'est recombinée et a conduit à un bouquet d'espèces. L'étude des gènes des opsines des cichlidés victoriens en fournit une illustration étonnante. Ces protéines permettent la vision des couleurs: plus on en a, mieux on distingue les teintes. Or on s'aperçoit que ces poissons ont acquis toutes les possibilités de vision dans la colonne d'eau, de la surface aux profondeurs. De plus, la vision des couleurs a un rôle crucial lors des parades nuptiales, pour la reconnaissance des partenaires. Elle a ainsi certainement joué un rôle essentiel dans la spéciation. Enfin, l'hybridation a autorisé la mobilisation de transposons, entraînant un bouleversement génétique qui a surtout touché la régulation de l'expression des gènes. On comprend pourquoi cette diversification a été si rapide et si importante.

Comment les poissons du Congo et du Nil se sont-ils rencontrés? La géologie fournit une réponse (*voir l'encadré ci-dessus*). Il y a quatre millions d'années, le lac Victoria n'existait pas et toute la région drainait l'actuel Congo. Puis des mouvements géologiques ont isolé la région du lac Victoria, lequel s'est rempli et déversé vers le Nil. Mais plus tard, la capture, par cette région, d'un affluent du système de drainage congolais, le Malagarasi, a connecté à nouveau les deux bassins. Ainsi, les cichlidés des bassins du Nil et du Congo ont évolué indépendamment pendant des dizaines de milliers d'années avant d'être soudainement mis en contact. Curieusement, malgré cet isolement géographique, les animaux ont pu s'hybrider. C'est cet accident géologique fortuit qui a donné naissance à l'essaim d'hybridation, à la source de l'extraordinaire bouquet d'espèces du lac Victoria. ■

QUAND LE LAC VICTORIA S'EST REMPLI

Il y a 4 millions d'années, le lac Victoria n'existait pas et toute la région appartenait au système de drainage du Congo. Puis, il y a 2 millions d'années, les mouvements géologiques du rift africain ont isolé la région du lac Victoria. Il y a environ 400 000 ans, de nouveaux mouvements géologiques ont modifié le sens d'écoulement de deux anciens affluents du Congo, qui ont alors rempli le lac, lequel s'est déversé vers le Nil. Enfin, il y a environ 140 000 ans, une période très humide a probablement reconnecté la région au système de drainage du Congo *via* la capture d'un affluent, le Malagarasi, et remis en contact les cichlidés des deux bassins.



BIBLIOGRAPHIE

D. A. Marques *et al.*, **A combinatorial view on speciation and adaptative radiation**, *TREE*, vol. 34(6), pp. 531-544, 2019.

J. Meier *et al.*, **Ancient hybridization fuels rapid cichlid fish adaptive radiations**, *Nat. Commun.*, vol. 8, article 14363, 2017.

D. Brawand *et al.*, **The genomic substrate for adaptive radiation in African cichlid fish**, *Nature*, vol. 513, pp. 375-381, 2014.

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

OFFRE NOËL 1 AN

3 FORMULES AU CHOIX

	FORMULE PAPIER	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an			✓
Le hors-série papier 4 numéros par an		✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an			✓
Accès à pourlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996			✓
Votre cadeau : le livre *Une histoire de flou de Pierre Léna* (74651805) 	✓	✓	✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	**59 €** Au lieu de ~~102,80 €~~	**79 €** Au lieu de ~~134,40 €~~	**99 €** Au lieu de ~~194,40 €~~
	43 % de réduction *	**41 %** de réduction *	**49 %** de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr

PAG19NOE

OUI, je m'abonne pour 1 an à POUR LA SCIENCE

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)

☐ FORMULE **PAPIER**
- 12 n° du magazine papier
- **+ UN CADEAU**

59€ Au lieu de ~~102,80€~~ — D1A59EK7

☐ FORMULE **PAPIER + HORS SÉRIE**
- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier
- **+ UN CADEAU**

79€ Au lieu de ~~134,40€~~ — P1A79EK7

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne
- **+ UN CADEAU**

99€ Au lieu de ~~194,40€~~ — I1A99EK9

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code postal ☐☐☐☐☐ Ville : .....

Téléphone ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

..... @ .....

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / Je choisis mon mode de règlement

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

☐ **Carte bancaire**

N° ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

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

Signature obligatoire :

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/05/2020 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site https://boutique.pourlascience.fr. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément chaque élément de cette offre : les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 €, les numéros de *Pour la Science Hors-série* pour 7,90 € et le livre Une histoire de flou pour 20,00 €.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z

L'AUTEUR

HERVÉ THIS
physicochimiste, directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-Inra, à Paris

RENOUVELER LE DÉLICE DE LA MOUTARDE

Le principal responsable du piquant de la moutarde classique peut constituer l'ingrédient de base de condiments analogues aux goûts nouveaux.

Le piquant de la moutarde est surtout dû à l'isothiocyanate d'allyle. Partant de cet ingrédient, on peut inventer d'autres préparations analogues.

La moutarde doit son piquant à divers principes, mais le principal est l'isothiocyanate d'allyle. Celui-ci se forme quand des graines de moutarde sont broyées et que des enzymes myrosinases, libérées, agissent sur un glucosinolate, la sinigrine, jusque-là séparée de l'enzyme dans la graine.

L'isothiocyanate d'allyle contribue également au piquant du radis, du cresson, du wasabi, du raifort. D'ailleurs, quand il est pur ou «dilué» dans de l'amidon, il donne aussitôt un piquant perçu comme celui du wasabi ou du raifort, selon la culture de celui ou celle qui le goûte.

Bien sûr, on pourrait utiliser cette dissolution solide comme du sel ou du poivre, en la saupoudrant, mais on perd alors l'idée du condiment qu'est la moutarde, ainsi que sa consistance dans la bouche. Peut-on reproduire la moutarde quand on dispose de l'isothiocyanate d'allyle (on le trouve chez les vendeurs de préparations qualifiées d'«aromatisantes» par la réglementation)?

La moutarde-condiment se distingue d'un simple piquant, car les graines de moutarde sont broyées avec des ingrédients variés: eau, vinaigre, jus de raisin vert, moût de raisin, vin... Ces derniers apportent bien plus que le piquant, à savoir des acidités variées (acétique, malique, citrique, succinique...), des sucres, du sel.

Bref, la moutarde peut être une belle composition, et il est dommage que les cuisiniers en aient laissé la fabrication à des industriels qui ne proposent pas toute la diversité possible. À partir d'isothiocyanate d'allyle, inventons alors un condiment qui s'apparente à la moutarde.

Il nous faut incorporer le principe piquant dans une préparation qui doit être pâteuse. L'adjectif «pâteux» évoque toujours une «suspension», c'est-à-dire une dispersion de particules solides dans un liquide. D'où plusieurs solutions évidentes.

Pour le liquide, il peut s'agir d'une solution aqueuse ou d'une matière grasse à l'état fondu. Pour les particules, on peut considérer, selon le «solvant» choisi, du sel, du sucre, des grains de farine ou de fécule, ou encore des fragments d'un gel. C'est la proposition faite, dans ces pages, sous le nom de «debye» et que l'on utiliserait ici de la façon suivante: on dissoudrait le composé piquant dans de l'eau, puis on gélifierait cette solution, avant de broyer le gel formé dans de l'eau ou dans de l'huile.

Mais il y a d'autres composantes gustatives que la réglementation autorise, voire invite à explorer: puisque, traditionnellement, on broie dans du vin ou du vinaigre les graines de moutarde (qui contiennent d'ailleurs de l'amidon, ce qui pourrait nous inciter à en utiliser), pourquoi ne pas placer, soit dans l'eau de dispersion, soit dans l'eau gélifiée, de l'acide acétique et de l'acide tartrique? Et n'oublions pas que les végétaux apportent bien souvent ces trois sucres que sont le glucose (qui contribue agréablement à la longueur en bouche), le fructose et le saccharose... Ces sucres sont d'ailleurs présents dans des condiments alsaciens, et l'on aurait tort de ne pas en utiliser le goût.

Et l'on voit ainsi se dessiner une recette... où l'on ne prend pas parti entre le choix de disperser de l'amidon et celui de faire un debye: on mêle les deux solutions! Sans oublier le sel...

Le nom de cette préparation? Ce ne peut pas être «moutarde», le produit traditionnel étant, à raison, réglementé. Aussi je propose de le nommer «cahours», du nom du chimiste français Auguste Cahours (1813-1891), qui fut un pionnier de l'étude des isothiocyanates. ■

LA RECETTE

1 À du vinaigre, ajouter environ 10 % en masse d'agar-agar, et porter à ébullition.
2 Attendre le refroidissement de ce liquide et sa prise en gel.
3 Griller de la farine à sec dans une casserole.
4 Lui ajouter un peu d'eau et cuire doucement à couvert, pour empeser l'amidon.
5 Ajouter au gel d'agar-agar la farine torréfiée, de l'huile, du sel, du sucre, de l'acide tartrique, un colorant alimentaire, de l'isothiocyanate d'allyle, et mixer finement.

OFFRE NOËL

DURÉE LIBRE

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

3 FORMULES AU CHOIX

	FORMULE PAPIER	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an			✓
Le hors-série papier 4 numéros par an		✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an			✓
Accès à pourlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996			✓
Votre cadeau : le livre *Une histoire de flou de Pierre Léna* (74651805) 	✓	✓	✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	**4,90 €** PAR MOIS	**6,50 €** PAR MOIS	**8,20 €** PAR MOIS

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :
Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr

☑ OUI, je m'abonne à Pour la Science en prélèvement automatique

PAG19NOE

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher) et je complète l'autorisation de prélèvement ci-dessous.

☐ FORMULE **PAPIER**
- 12 n° du magazine papier

+ UN CADEAU

4,90€ PAR MOIS — DPV4E90K5

☐ FORMULE **PAPIER + HORS SÉRIE**
- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier

+ UN CADEAU

6,50€ PAR MOIS — PPV6E50K12

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne

+ UN CADEAU

8,20€ PAR MOIS — IPV8E20K12

2 / Mes coordonnées

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code postal ☐☐☐☐☐ Ville : .....

Tél. : ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐

E-mail : ..... @ .....
(indispensable pour la formule intégrale)

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/05/2020 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site https://boutique.pourlascience.fr. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément chaque élément de cette offre : les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 €, les numéros de *Pour la Science Hors-série* pour 7,90 € et le livre Une histoire de flou pour 20,00 €.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour la Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : https://rebrand.ly/charte-donnees-pls. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris cedex 14 – Sarl au capital de 32 000€ – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 58.14 Z

3 / Mandat de prélèvement SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code postal ☐☐☐☐☐ Ville : .....

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) ☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐☐

IBAN ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : .....

Adresse : .....

Code postal ☐☐☐☐☐ Ville : .....

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse – 75014 Paris
N° ICS FR92ZZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

4 / MERCI DE JOINDRE IMPÉRATIVEMENT UN RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

À PICORER

Retrouvez tous nos articles sur **www.pourlascience.fr**

P.52 MÈMES

Le théoricien de l'évolution Richard Dawkins a proposé ce terme en 1976. Il désigne « un élément culturel transmis ou imité ». Sur les réseaux sociaux, il décrit un contenu, généralement visuel, dont le rôle dans la désinformation a longtemps été sous-estimé du fait de son aspect ludique. En particulier, les partisans du président américain Donald Trump ont massivement utilisé les mèmes lors de sa campagne électorale.

P.40 55 KM/AN

C'est la vitesse à laquelle se déplace actuellement le pôle nord magnétique. Il est beaucoup moins contraint que le pôle sud magnétique, qui se déplace seulement de 10 kilomètres par an.

P.34

« Le cancer doit réinventer la roue à chaque fois, car en dehors des cancers transmissibles, toute la diversité qu'il a produite chez un individu disparaît avec lui »

FRÉDÉRIC THOMAS directeur de recherche du CNRS au laboratoire Mivegec

P.13 90 %

Depuis les années 1970, l'océan a absorbé plus de 90 % de l'excès de chaleur produit par l'effet de serre d'origine anthropique. Il a ainsi joué un rôle modérateur dans le réchauffement climatique.

P.74 TUNNEL GRAVITATIONNEL

On appelle « tunnel gravitationnel » la forme du puits qu'il faudrait creuser dans la Terre pour qu'un corps lâché depuis son ouverture tombe sans jamais toucher les parois. La rotation de la planète déviant cette chute vers l'est et le sud, si de tels tunnels étaient utilisés pour voyager d'un point du globe à un autre, ils ne pourraient être empruntés que dans un seul sens !

P.80 FORTITUDE

L'opération Fortitude, menée par les Alliés à la fin de la Seconde Guerre mondiale, était un vaste programme de désinformation visant à masquer le lieu du débarquement en Normandie et les forces impliquées. Qu'il s'agisse de camouflage ou d'un autre stratagème, les méthodes utilisées sont de l'« offuscation ».

P.22 2 500

D'après l'Unesco, il y a dans le monde environ 2 500 langues en danger d'extinction, sur les quelque 7 000 répertoriées. Par exemple, le kuuk-thaayorre, une langue d'aborigènes australiens, n'aurait plus que quelques dizaines de locuteurs.

Imprimé en France – Maury Imprimeur S.A. Malesherbes – Dépôt légal 5636 – Novembre 2019 – N° d'édition M0770505-01 – Commission paritaire n° 0922 K 82079 – Distribution : Presstalis – ISSN 0 153-4092 – N° d'imprimeur 239709 – Directeur de la publication et gérant : Frédéric Mériot.