

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 512 (juin 20)
réf. PL512



N° 511 (mai 20)
réf. PL511



N° 510 (avril 20)
réf. PL510



N° 509 (mars 20)
réf. PL509



N° 508 (fév. 20)
réf. PL508



N° 507 (jan 20)
réf. PL507



N° 506 (déc. 19)
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)
réf. PL504



N° 503 (sept. 19)
réf. PL503



N° 502 (août 19)
réf. PL502



N° 501 (juillet 19)
réf. PL501

À retourner accompagné de votre règlement à :

Next2C – Service abonnements Pour la Science – 26 BD Président Wilson CS 40032 – 67085 Strasbourg CEDEX – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science,
au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres
correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ 01 x 9,90 € = 9,90 €
2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social: 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret: 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique. pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.
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.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

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 :



RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

L'AUTEUR



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

L'ART DU MIME HELICONIUS

Les motifs colorés des ailes de certains papillons *Heliconius* imitent à la perfection ceux de cousins. Un scénario évolutif tout tracé qui se répète ou une nouvelle histoire qui s'invente à chaque fois ?

Les ailes des oiseaux, des insectes et des chauves-souris ont la même fonction : voler. Toutefois, les zoologistes ont vite compris que ces organes avaient des structures, et donc des origines, différentes. On nomme « convergence évolutive » le phénomène par lequel deux espèces distinctes ont, comme ces animaux, acquis indépendamment des traits communs, voire identiques, au fil de l'évolution. À l'échelle moléculaire, une évolution convergente mène ainsi parfois à des changements parfaitement identiques, comme la substitution d'un acide aminé d'une protéine ou d'un nucléotide d'une séquence d'ADN.

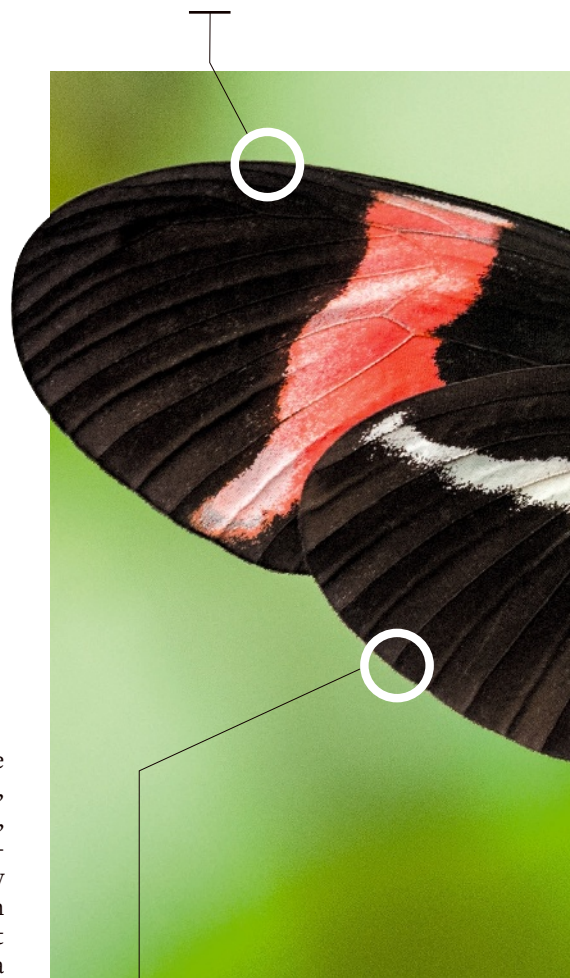
On a longtemps pensé que la convergence évolutive ne concernait que des espèces éloignées, lesquelles atteignaient alors le même objectif de différentes manières. *A contrario*, les espèces proches partageant des traits communs les auraient acquis en suivant des chemins identiques, ce que l'on a nommé « parallélisme ». Mais des papillons nous apprennent à présent que les choses ne sont pas aussi simples.

Les prémices de cette découverte remontent au XIX^e siècle. En mai 1848, deux jeunes naturalistes britanniques, Henry Bates et Alfred Wallace, débarquaient en Amazonie avec l'objectif d'y collecter des spécimens d'animaux et en particulier d'« étudier minutieusement toute une famille, principalement dans la perspective de la théorie de l'origine des espèces », comme l'écrivait Wallace à Bates en 1847 (Wallace qui, plus tard, élaborerait au même moment que Darwin l'idée de sélection naturelle).

Durant les onze années de son séjour, Bates s'intéressa, entre autres, aux papillons. Observateur de talent, il remarqua que les oiseaux ne chassaient jamais le monarque (*Danaus plexippus*), un papillon au vol lent et aux ailes colorées. Après avoir compris que cet insecte était toxique, Bates découvrit que ses vives couleurs avaient une fonction : elles avertissaient les prédateurs potentiels qui, ainsi, l'évitaient.

Peu à peu, Bates a défriché les secrets des colorations des ailes de ces papillons fascinants. Il s'est ainsi rendu compte que des animaux qui ne se ressemblaient pas

Toxique, il forme un couple de mimes avec *Heliconius erato*, un autre papillon toxique. On parle de « mimétisme mullérien ». Chaque espèce compte environ 30 sous-espèces connues.



Ce papillon est une espèce répandue des forêts tropicales de l'Amérique centrale jusqu'au sud du Brésil.



Hervé Le Guyader a récemment publié : **Biodiversité : le pari de l'espoir**, (Le Pommier, 2020).

EN CHIFFRES :

8 000

Durant son périple en Amazonie, de 1848 à 1859, le naturaliste Henry Bates a collecté plus de 14 700 espèces animales (principalement des insectes), dont 8 000 nouvelles pour la science.

48

Aujourd'hui, 14 millions d'années après la divergence des papillons du genre *Heliconius* à partir de leur ancêtre commun, ce genre compte 48 espèces.

4

Quatre gènes majeurs modulent les motifs colorés des ailes des papillons *Heliconius*: *Optix*, qui active la couleur et l'iridescence, *Aristaless 1*, qui réprime la pigmentation, *Cortex*, qui régule le développement des écailles et *WntA*, dont il est question ici.



Il ne fait sans doute qu'une halte sur cette fleur, car il se nourrit exclusivement du nectar de passiflores.

La larve de ce papillon est une chenille d'environ 1,5 cm au corps blanc constellé d'épines et de points noirs, terminé d'un côté par un postérieur jaune et de l'autre par une tête orange ornée de deux cornes noires.

pouvaient appartenir à la même espèce, alors que des papillons qui, au premier abord, présentaient les mêmes motifs de coloration, étaient parfois d'espèces complètement différentes.

HELICONIUS, CHAMPIONS DE L'IMITATION

Par exemple, deux variétés de l'espèce *Heliconius melpomene* n'ont pas les mêmes couleurs sur l'aile antérieure: noire et rouge pour l'une (*H. m. melpomene*), noire, rouge et blanche pour l'autre (*H. m. theliopse*). Bates pensait qu'il s'agissait d'espèces distinctes, jusqu'à ce qu'il en trouve des hybrides. Il avait aussi constaté que certains papillons aux ailes

similaires appartenaient au même genre, tandis que d'autres étaient de genres totalement différents! Ainsi, *Heliconius numata* ressemblait à *Mechanitis polymnia* qui ressemblait à son tour à *Dismorphia amphione*. Or les deux premières espèces étaient toxiques et la troisième, comestible. Ce phénomène, appelé « mimétisme », paraissait bien compliqué...

Bates comprit l'intérêt d'une espèce comestible à mimer une espèce toxique: les mêmes colorations d'avertissement trompaient un éventuel prédateur. Depuis, ce mimétisme est dit « batésien ». Il fallut attendre 1878 pour que le naturaliste allemand (vivant au Brésil) Fritz Müller explique pourquoi deux espèces toxiques ont aussi intérêt à se mimer: elles en bénéficient toutes deux, car les prédateurs apprennent alors plus vite à reconnaître une proie toxique et risquent moins de se tromper. C'est le mimétisme « mullérien ».

Dans le genre *Heliconius*, plusieurs espèces adoptent ce dernier. Comme celles-ci sont très proches évolutivement, il est tentant d'y voir un cas de parallélisme. D'autant que ces dix dernières années, différentes équipes ont mis en évidence le rôle majeur de quatre gènes dans la modulation des motifs de coloration des ailes d'*Heliconius*. Peu de gènes, des animaux très proches: on s'attendrait donc que des motifs identiques soient obtenus par les mêmes réseaux génétiques, contrôlés par les mêmes gènes majeurs – un véritable parallélisme. Mais comment vérifier cette assertion?

Pour résoudre ce problème, une équipe internationale autour d'Owen ➤



Heliconius melpomene
(en anglais, *postman butterfly*,
ou « papillon facteur »)

Longueur des ailes antérieures: 35-39 mm

> McMillan et Riccardo Papa, du Smithsonian Tropical Research Institute, au Panama, et d'Arnaud Martin, de l'université George-Washington, aux États-Unis, s'est focalisée sur l'un de ces gènes, *WntA*. Il code une glycoprotéine sécrétée dans l'espace intercellulaire, laquelle active une voie de signalisation de grande importance morphogénétique. En effet, cette voie est conservée chez tous les animaux, où son rôle dépend de la cible qu'elle contrôle. Par exemple, chez la drosophile, où elle a été découverte, elle influe sur la croissance tissulaire, la polarité et la forme.

Pour révéler le rôle de *WntA* dans la modulation des motifs des ailes d'*Heliconius*, les chercheurs ont muté ce gène de façon qu'il ne soit plus exprimé. En 2017, ils ont ainsi appliqué ce procédé à diverses espèces de papillons, dont deux *Heliconius*. Chez toutes les espèces testées, ils ont observé que l'extinction de *WntA* ne supprimait pas les motifs, mais faisait apparaître un nouveau patron coloré, comme si les réseaux génétiques conduisant aux motifs étaient régulés d'une autre manière. Chez une vanesse (*Vanessa cardui*), par exemple, le patron de rayures des ailes était altéré et un nouvel œil apparaissait; chez les deux *Heliconius*, les limites entre les champs noirs et colorés des ailes n'étaient plus au même endroit.

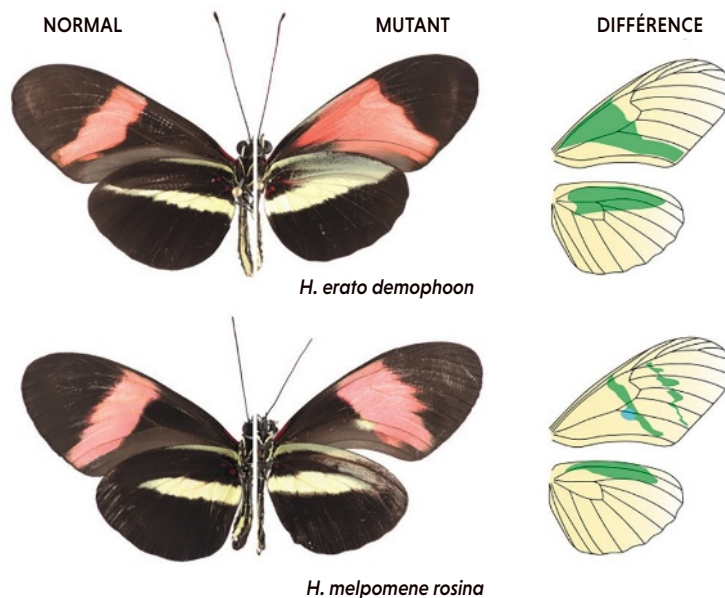
PARALLÉLISME OU CONVERGENCE?

Restait à déterminer si des espèces d'*Heliconius* se mimant mutuellement arrivaient à leur patron commun de la même manière (parallélisme) ou non (convergence). Pour ce faire, en 2019, l'équipe s'est penchée sur plusieurs couples de mimes au sein du genre *Heliconius*. Le gène *WntA* étant hérité de l'ancêtre commun du genre *Heliconius*, deux hypothèses s'affrontaient. La première, celle du parallélisme, repose sur un scénario déterministe: les réseaux et interactions de gènes seraient identiques chez les deux mimes d'un même couple, par évolution parallèle. Par conséquent, éteindre *WntA* devrait révéler les mêmes patrons chez les mimes, signe que *WntA* est prédisposé à conduire à certains patrons.

La seconde hypothèse, celle de la convergence, amène à postuler une flexibilité génétique. L'ancêtre du genre *Heliconius* date de 14 millions d'années, mais les cas de mimétisme ne remontent qu'entre 2,5 et 4,5 millions d'années d'après les arbres phylogénétiques construits à partir de l'analyse génomique

MÊMES MOTIFS, DIFFÉRENTS MÉCANISMES

H*eliconius erato demophoon* et *Heliconius melpomene rosina* sont difficiles à distinguer tant leurs ailes se ressemblent (ailes de gauche). Pourtant, quand on éteint le gène *WntA*, lequel contrôle les limites entre zones noires et colorées des ailes, ces papillons présentent des motifs différents (ailes de droite). En d'autres termes, les mécanismes que *WntA* contrôle diffèrent chez ces deux lépidoptères : des mécanismes distincts conduisent aux mêmes motifs. Étonnant ? Peut-être pas tant que cela, car bien que ces papillons soient du même genre, leurs lignées ont divergé il y a plus de 10 millions d'années.



de papillons *Heliconius*. Dans les diverses lignées autonomes depuis 14 millions d'années, les réseaux de gènes responsables des patrons colorés des ailes auraient eu le temps de largement diverger, et les régulations sous contrôle de *WntA* se seraient mises en place de manière différente. Dans ce cas, l'extinction de *WntA* démasquerait des patrons différents chez les mimes...

C'est ce qu'ont montré les expériences (voir l'encadré ci-dessus). Ainsi, contre toute attente, bien que les espèces soient proches, on a ici un phénomène de convergence. L'évolution du mimétisme chez *Heliconius* correspond donc à un jeu mystérieux entre une flexibilité des réseaux de gènes et un certain déterminisme de la fonction de quelques gènes majeurs comme *WntA*, puisque les voies de signalisation qu'ils activent fonctionnent de la même façon d'une espèce à l'autre. Ce jeu ouvre de manière inattendue un vaste champ des possibles pour les réseaux de gènes et l'évolution en général. Et la combinatoire qu'il permet chez des animaux si proches interroge sur la frontière entre convergence et parallélisme. Voir sur l'existence du parallélisme... ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Concha et al., **Interplay between developmental flexibility and determinism in the evolution of mimetic *Heliconius* wing patterns**, *Current Biology*, vol 29, pp. 3996-4009, 2019.

A. Mazo-Vargas et al., **Macroevolutionary shifts of *WntA* function potentiate butterfly wing-pattern diversity**, *PNAS*, vol. 114(40), pp. 10 701-10 706, 2017.

A. Martin et al., **Diversification of complex butterfly wing patterns by repeated regulatory evolution of a *Wnt* ligand**, *PNAS*, vol. 109(31), pp. 12 632-12 637, 2012.

La revue des sciences de la vie et de la Terre

Botanique, zoologie, évolution...
Espèces c'est toute l'actualité de la recherche proposée par les scientifiques eux-mêmes.

n° 36 en kiosque de juin à août et par correspondance sur notre site

ES
N° 36
2020

ES PÈCES

Revue d'histoire naturelle

Histoires naturelles

JUIN à AOÛT 2020

BALEINES DE FOIRE, BALEINES DE MUSÉUMS :

Le bécasseau sanderling

Tout en pattes : les pycnogonides

L'oiseau chauve-souris

Des plantes intelligentes ?

LES CÉTACÉS EXPOSÉS

BOTANIQUE
Les liaisons cachées des arbres

CÉTOLOGIE
L'adaptation à la plongée

HISTOIRE
J. P. Goudot, l'insaisissable naturaliste

BIODIVERSITÉ
L'herbe aux perles

GÉOLOGIE
Océans fossiles de Guyane

ENTR'ESPÈCES
La mouche du fromage

ESPRIT CRITIQUE
Paraphylie et polyphylie

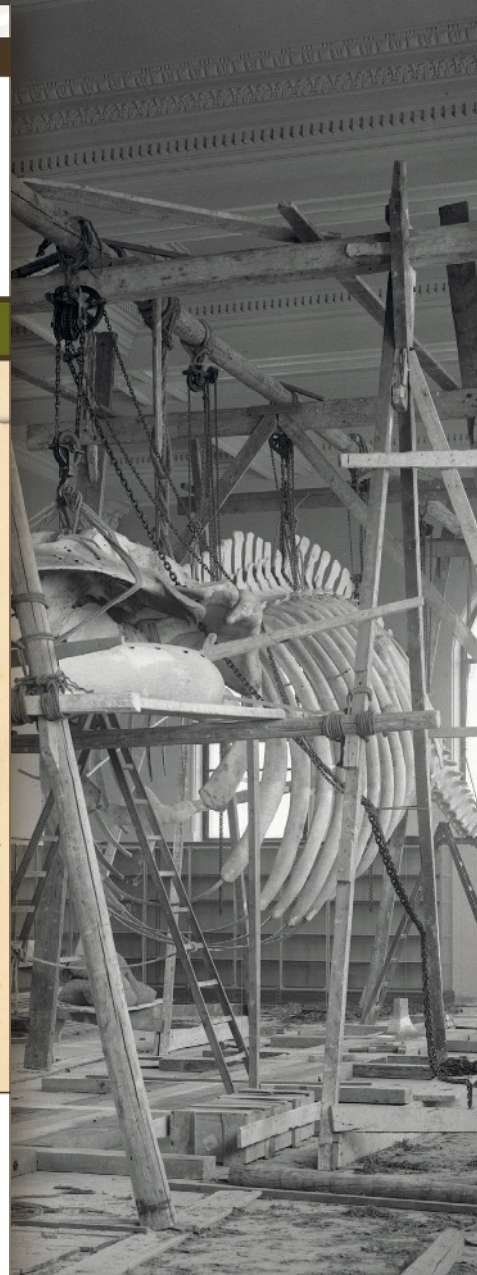
PHYLOGÉNIE
Partages ou différences ?

L 155... € - RD

100 p.
8,50 €

DOM - BEL/LUX 8,90 € - CAN: 13,50 \$CA - N CAL/S: 1250 CFP - POL/S: 1300 CFP

CNL
CENTRE NATIONAL DU LIVRE



especies.org

Pour vous abonner ou commander au numéro, version papier ou numérique.

Vous y trouverez aussi des articles en accès libre, les éditoriaux, les sources et toutes les actualités de la revue... un concentré d'histoires naturelles !



ES PÈCES
Revue d'histoire naturelle

N°35 : La tumultueuse histoire des mammifères du Nouveau Monde

Des mammifères du monde du Nord à ceux du Sud, les mammifères du Nouveau Monde ont une histoire riche et complexe. Cette revue vous propose une synthèse de la recherche actuelle sur ces animaux, de leur évolution à leur répartition géographique.

la revue des sciences de la vie et de la Terre

5,00€ - 11,00€

EN LIGNE