

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 515 (sept. 20)
réf. PL515



N° 514 (août 20)
réf. PL514



N° 513 (juill. 20)
réf. PL513



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

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

COMMENT LE MOUSTIQUE VOUS REPÈRE

Contrairement à ce que l'on pensait, quand les moustiques femelles partent en quête d'une proie à sang chaud, ce n'est pas la chaleur du corps qui les attire...

Le principal vecteur du paludisme, l'anophèle (*Anopheles gambiae*), est l'un des moustiques les plus étudiés: génome, génétique et dynamique des populations, comportement, reproduction... On sait depuis longtemps que la femelle a besoin d'un repas de sang afin d'obtenir les protéines indispensables à la maturation de ses ovules. Mais comment cet insecte détecte-t-il sa proie? Il utilise plusieurs critères conjointement: molécules odoriférantes, dioxyde de carbone (CO₂), chaleur du corps.

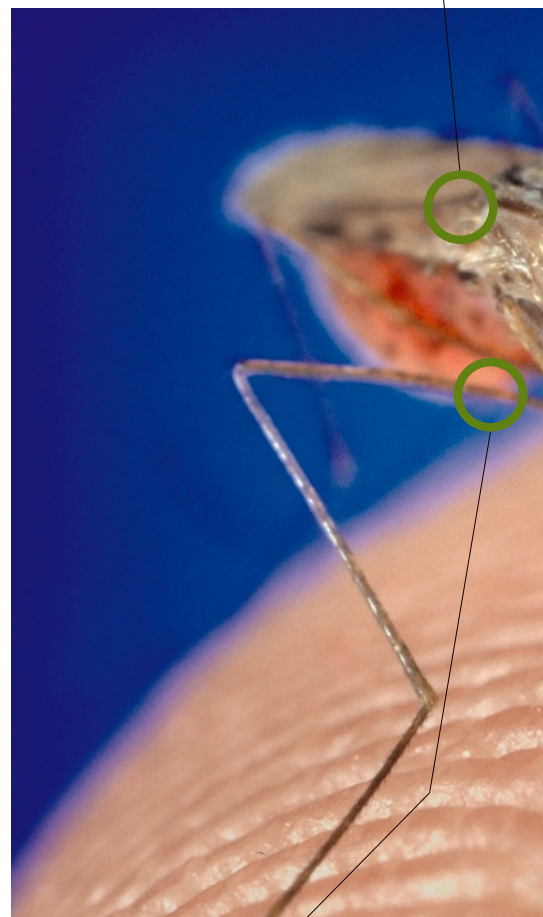
Les récepteurs du CO₂ et des odeurs sont connus: à l'aide de techniques classiques de biologie moléculaire, les équipes de Leslie Vosshall, de l'université Rockefeller, et de John Carlson, de l'université Yale, aux États-Unis, les ont décrits respectivement en 2007 et 2010. En revanche, le ou les récepteurs sensibles à la chaleur restaient inaccessibles par ces

techniques. C'est pourquoi l'équipe de Paul Garrity, à l'université Brandeis, aux États-Unis, a récemment opté pour une approche différente en se rappelant que les moustiques descendent d'insectes qui n'étaient pas hématophages. Cette idée conduit à deux hypothèses: soit l'émergence de la recherche de sang chaud s'est accompagnée de la construction de nouveaux thermorécepteurs, soit les ancêtres des moustiques arboraient déjà des thermorécepteurs, dont la fonction aurait alors évolué avec l'apparition de l'hématophagie. C'est cette dernière hypothèse que Paul Garrity a suivie en priorité, et bien lui en a pris...

DE LA DROSOPHILE AU MOUSTIQUE

Tout comme les mouches, les moustiques appartiennent à l'ordre des diptères. Paul Garrity s'est donc penché sur la drosophile, certainement l'insecte le

Les femelles adultes sont actives la nuit, surtout entre minuit et 4 h, de préférence en intérieur, et les humains sont leurs proies de prédilection.



Localisés en Afrique subsaharienne tropicale et à Madagascar, les moustiques de cette espèce sont le principal vecteur du paludisme.

Quand une femelle aspire le sang d'un humain atteint de paludisme, elle ingère le parasite responsable de la maladie, un protozoaire du genre *Plasmodium*. Après une période de développement dans le moustique, le parasite devient transmissible lors d'un repas de la femelle.



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

EN CHIFFRES

228 millions

On estime qu'en 2018, 228 millions de personnes étaient atteintes de paludisme, maladie transmise par les moustiques du genre *Anopheles* (surtout *A. gambiae*), et 405 000 en sont mortes.

Cette femelle *Anopheles gambiae* est sur le point d'obtenir son repas de sang sur le doigt d'un humain.

0,2 seconde

Il suffit de 0,2 à 0,7 seconde à l'anophèle femelle pour que ses neurones sensitifs répondent après la diminution de la température.

250 millions

L'ancêtre le plus récent de l'anophèle et de la drosophile vivait il y a 250 millions d'années.



Les femelles adultes du genre *Anopheles* sont reconnaissables à la taille de leurs palpes maxillaires, aussi longs que leur trompe.



Anopheles gambiae
Taille : de 2,8 à 4,4 mm

plus étudié. Or, il y a une petite dizaine d'années, deux récepteurs de la chaleur avaient été examinés. La drosophile les utilise non pour rechercher des sources de chaleur, mais pour les éviter. C'est ce point qui a mis Paul Garrity sur la voie. Les efforts ont jusqu'à présent porté, sans résultat, sur la recherche de récepteurs de la chaleur. Pourquoi ne pas s'intéresser à ceux du froid, étant donné que, logiquement, une source de chaleur peut être trouvée par l'évitement du froid?

Ces dernières années, on a repéré chez la drosophile trois récepteurs qui lui servent à éviter les températures extrêmes, dans le chaud comme dans le froid. Il s'agit de trois membres de la

famille des récepteurs ionotropes, des protéines membranaires qui forment un canal ionique sensible à un messenger chimique (neurotransmetteur), et ils sont par ailleurs largement répandus chez les insectes, dont les moustiques. De plus, ils sont sensibles non pas à une température seuil donnée, mais aux variations de température, dans un sens ou dans l'autre. Aideraient-ils aussi l'anophèle à éviter le froid, voire rechercher le chaud?

De ces trois candidats, nommés IR21a, IR25a et IR93a, le premier est celui le plus spécifiquement utilisé pour la détection du refroidissement chez la drosophile, les deux autres étant aussi sensibles à d'autres éléments, comme la sécheresse. L'équipe de Paul Garrity a donc voulu savoir si IR21a était indispensable à la détection du froid chez l'anophèle. À cette fin, elle a construit deux mutants différents du gène *Ir21a*, qui code le récepteur. Dans l'un, elle a inséré une séquence qui entraîne la synthèse d'un récepteur non fonctionnel. Dans l'autre, une séquence codant une protéine fluorescente jaune. Le produit du gène est également non fonctionnel et sa fluorescence permet de repérer les cellules qui l'expriment. Enfin, l'équipe a produit des anticorps contre la protéine IR21a.

Grâce à ces outils moléculaires, elle a montré que chez l'anophèle femelle, le récepteur IR21a est localisé dans le dernier segment des antennes, là où trois sensilles reçoivent chacune un neurone sensitif (voir l'encadré page 94). Très précisément, les protéines IR21a sont situées à l'extrémité sensitive de ces trois neurones.

> L'équipe de Paul Garrity a alors mis au point un système d'enregistrement permettant de détecter quand et pourquoi ces neurones sont activés. Ils répondent à un abaissement de la température – d'où leur nom de « cellules de refroidissement ». Une diminution de 0,5 °C à partir de 30 °C augmente l'activité neuronale de 40%; la même diminution à partir de 37 °C l'augmente de 80%. De plus, une élévation de la température inhibe l'activité nerveuse. Enfin, l'équipe a constaté que l'activité de base est la même quelle que soit la température. Ainsi, comme chez la drosophile et d'autres diptères, ou des insectes non diptères comme les termites, les cellules de refroidissement ne sont pas des thermomètres qui détectent la valeur absolue de la température, mais des détecteurs de variation de température. Comme prévu, les neurones des deux mutants ne présentent aucune de ces activités. Paul Garrity et ses collègues ont donc démontré que la fonction moléculaire du récepteur *IR21a* est bien conservée chez l'anophèle, comparativement aux autres insectes, et en particulier la drosophile.

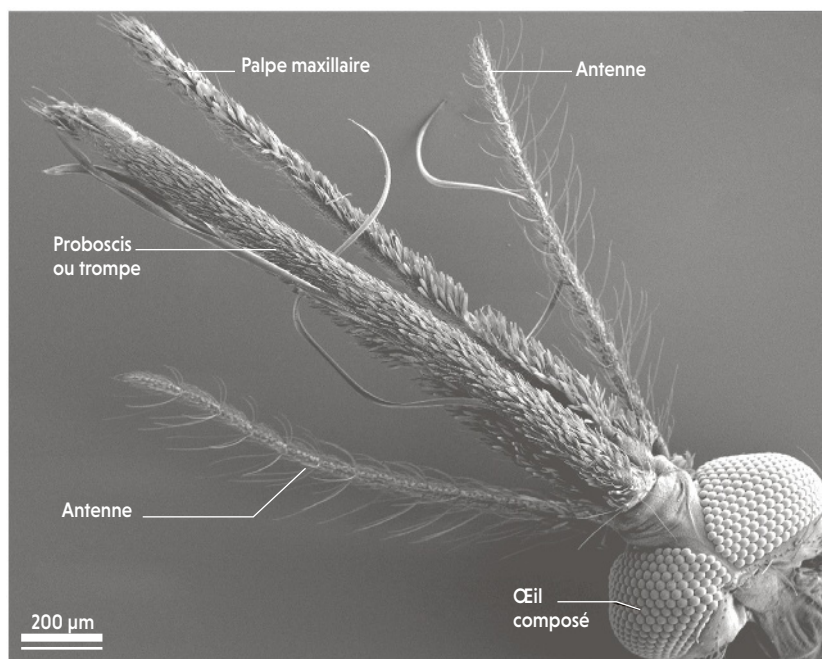
SUIVRE LA CHALEUR... EN ÉVITANT LE FROID

Par des expériences comportementales utilisant les deux mutants, l'équipe est ensuite parvenue à fournir l'ultime démonstration: ce récepteur sensible au refroidissement mène effectivement l'animal vers le chaud. Elle savait que l'approche de l'hôte dépend de plusieurs autres facteurs (odeurs, CO₂), mais qu'à partir de 15 centimètres, la température est le paramètre essentiel. Aussi a-t-elle décidé d'envoyer aux anophèles femelles une bouffée de 4% de CO₂ pendant 20 secondes avant de les exposer à deux cibles, l'une à la température ambiante (26°C), l'autre à une température supérieure (37°C). Parmi les moustiques sauvages, 43% ont choisi la cible chaude, contre seulement 14% des mutants; la cible à température ambiante était ignorée dans tous les cas. Ainsi la détection de la cible chaude n'est pas complètement éliminée chez les mutants, ce qui suggère que d'autres récepteurs agissent sans doute. Néanmoins, la diminution drastique observée prouve que le produit du gène *Ir21a* est essentiel pour cette fonction.

Le récepteur *IR21a* est donc le médiateur clé du comportement de recherche de la chaleur chez l'anophèle. Trouver qu'un récepteur activé par le refroidissement permet la recherche du chaud semble

AU BOUT DES ANTENNES

Les moustiques *Anopheles gambiae* femelles arborent sur leurs antennes et leurs palpes maxillaires (sur cette vue en microscopie électronique à balayage de la tête d'une telle femelle, un des deux palpes est caché sous la trompe) de multiples structures sensorielles nommées « sensilles », sensibles à différents stimuli extérieurs (odeur, goût, humidité, température, contrainte mécanique...) selon leurs caractéristiques. À l'extrémité des antennes, trois sensilles contiennent chacune un neurone sensitif qui s'active lors d'un refroidissement.



contre-intuitif. Pourtant une répulsion au froid mène au même résultat qu'une attirance au chaud. Et n'oublions pas que les neurones sensitifs du refroidissement sont non seulement activés par une baisse de température, mais aussi inhibés par une augmentation de celle-ci, ce qui facilite probablement l'orientation du moustique vers la chaleur.

L'ancêtre commun à l'anophèle et à la drosophile est très ancien, ce qui suggère que la fonction du gène *Ir21a* est ancestrale, en tout cas bien antérieure à l'époque où des insectes sont devenus hématophages. Ainsi, si les récepteurs ont été conservés, c'est le traitement du signal au niveau central qui a changé. Alors que la majorité des insectes se contentent d'éviter le froid, le moustique femelle *Anopheles gambiae*, lui, se sert de sa capacité à éviter le froid pour rechercher le chaud en remontant un gradient de température. Quant au mâle? Il porte aussi des récepteurs *IR21a* dans ses antennes, ce qui suggère que ces récepteurs continuent par ailleurs à jouer, chez les moustiques, leur fonction ancestrale... ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Greppi et al., **Mosquito heat seeking is driven by an ancestral cooling receptor**, *Science*, vol. 367, pp. 681-684, 2020.

C. J. McMeniman et al., **Multimodal integration of carbon dioxide and other sensory cues drives mosquito attraction to humans**, *Cell*, vol. 156(5), pp. 1060-1071, 2014.

A. F. Carey et al., **Odorant reception in the malaria mosquito *Anopheles gambiae***, *Nature*, vol. 464, pp. 66-71, 2010.

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° 37 en kiosque de septembre à novembre et par correspondance

ES
N° 37
2020

ES

PÈCES

Revue d'histoire naturelle

Histoires naturelles

SEPTEMBRE à NOVEMBRE 2020

LA PEAU DES REQUINS ET DES RAIES :

Nos cousins bonobos

L'île de Middleton

Les virus sont-ils nos ennemis ?

La Meije: effondrement et biodiversité

Le musée de papier de T. White

UNE ARMURE DE DENTS

BOTANIQUE
Les houx

ENTOMOLOGIE
Le réduve au mauvais caractère

SOCIÉTÉS
Toilettage chez les mangoustes

HISTOIRE
Eugénisme et ours des cavernes

GÉOLOGIE
Le cimetière des ammonites

ENTR'ESPÈCES
Les hippopotames de Pablo Escobar

BIOLOGIE MARINE
Le paradoxe des apicomplexes

ÉPISTÉMOLOGIE
Vivent les mots nouveaux !

CNL CENTRE NATIONAL DU LIVRE

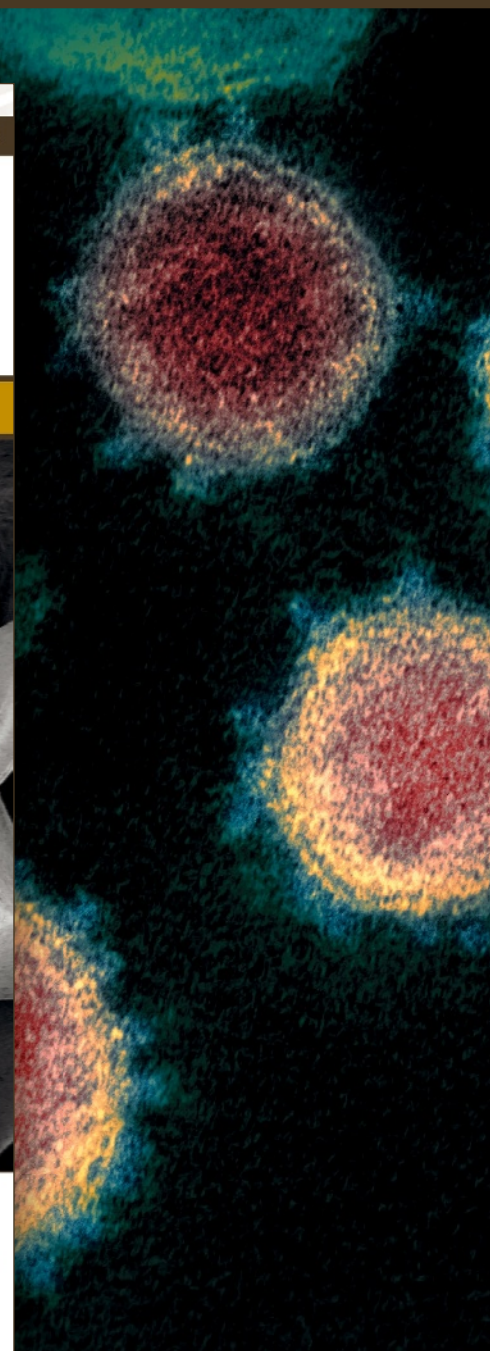


100 p.
8,50 €

DOM - BEL/LUX 8,90 € - CAN: 13,50 \$CA - N CAL/S: 1 250 CFP - POL/S: 1 300 CFP

especes.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°36 : Baleines de fou, baleines de muséums : les Citraos exposés

Après une centaine d'années de silence, les baleines de fou ont été réintroduites dans les musées. Cette fois-ci, c'est pour une exposition qui sera présentée dans les musées de la région de la Méditerranée. Cette exposition sera présentée dans les musées de la région de la Méditerranée. Cette exposition sera présentée dans les musées de la région de la Méditerranée.

ES PÈCES
Revue d'histoire naturelle

THÉÂTRE & BAILEINE
Simon Star

Éditions de la Revue d'histoire naturelle
Citraos exposés - N°36

5,00€ - 11,00€

www.especes.org