

Ce que nous apprend l'étude géologique des continents

Dès sa découverte en 1990, on s'est aperçu que l'anomalie climatique du maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène présentait de nombreuses similitudes avec le réchauffement climatique actuel : émission de gaz à effet de serre, réchauffement des eaux marines, extinctions ou modifications transitoires de certaines microfaunes marines, cycle du carbone concerné à l'échelle globale. Depuis, de nombreux chercheurs, surtout anglosaxons, l'étudient comme analogue au réchauffement actuel. Toutefois, les modélisations visant à reconstituer la vitesse de libération des gaz à effet de serre sont encore trop peu nombreuses, leurs résultats parfois contradictoires, et les sources possibles d'une libération massive du carbone sont multiples et encore débattues. Les travaux mentionnés ici sont loin de clore le sujet.

De fait, l'étude des carottes en milieux marins est insuffisante. Pour améliorer leurs outils et valider leurs modèles, les modélisateurs des changements climatiques réclament plus de données, si possible régionales, sur l'enregistrement du maximum thermique en milieu continental. L'étude en milieu continental devrait aussi aider à mieux connaître les effets d'une telle crise sur le milieu de vie des humains.

L'impact sur la faune est connu depuis longtemps : des groupes archaïques ont disparu et des groupes modernes sont apparus (périssodactyles, artiodactyles et primates chez les mammifères), se sont diversifiés et répandus très vite dans l'hémisphère Nord, empruntant des passages aux hautes latitudes (à l'époque havres subtropicaux) via le détroit de Béring et le Groenland, à la faveur de reliefs entourant l'Atlantique Nord

naissant. L'impact sur la végétation est en revanche mal cerné, les données étant contradictoires selon qu'on examine les macrofossiles ou les pollens et spores, et ils dépendent des milieux de dépôt. Quelques travaux ont montré des modifications des régimes hydriques et de l'évolution des sols, mais ils ne concernent que de rares sites isolés (Wyoming, Arctique, Colombie, Tanzanie, Nouvelle-Zélande, Angleterre).

Une équipe de chercheurs européens (majoritairement franco-belges) et russe coordonnée par le Bureau de recherche géologique minière (BRGM) étudie les effets du maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène dans les milieux continentaux et littoraux du bassin de Paris et de ses bordures. Les premiers résultats indiquent une sédimentation dans des milieux très variables (rivière, lac, marécage, plage

et lagune), une alternance d'épisodes de crues drastiques et d'aridité marquée, et la formation de sols particuliers sur les secteurs émergés, bien différents de ce qui était supposé ou admis auparavant. Peu à peu, les paysages sont reconstitués. La matière organique, souvent abondante, est étudiée en détail, de même que les vestiges animaux et végétaux. Une telle étude intégrée devra être reproduite à d'autres latitudes, sur tous les continents, et à diverses paléoaltitudes (afin de vérifier par exemple la présence de pergélisol sur des hauts plateaux) pour affiner les simulations des paléoclimatologues, et mieux envisager ce qui nous attend si la crise actuelle se poursuit, d'autant plus si le rythme en est plus rapide.

Florence Quesnel

BRGM, Service Géologie, Unité Régolithe et Réservoirs, Orléans

Maintenant que l'on sait que le maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène s'est imposé plus lentement qu'on ne le pensait, il n'est plus question d'invoquer son innocuité pour justifier le maintien de l'utilisation des combustibles fossiles et des rejets liés. Le changement climatique actuel se produit à une vitesse folle. En quelques décennies, la déforestation, les automobiles et les centrales à charbon de la révolution industrielle ont augmenté de plus de 30 pour cent la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère : aujourd'hui, chaque année, nous injectons neuf gigatonnes de carbone dans l'atmosphère. Selon les projections, qui prennent en compte l'accroissement de la population et l'industrialisation des pays en développement, cette quantité pourrait atteindre 25 gigatonnes par an avant l'épuisement de toutes les réserves de combustibles fossiles.

Les scientifiques et les décideurs aux prises avec les effets potentiels du changement climatique se concentrent généralement sur les bilans finaux : quelle quantité de glace va fondre ? De combien le niveau de la mer va-t-il s'élever ? L'étude du maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène montre que d'autres questions sont tout aussi cruciales : à quelle vitesse ces changements auront-ils lieu ? Les habitants de la Terre auront-ils le temps de

s'ajuster ? Si le changement se produit trop vite, ou si les barrières à la migration et à l'adaptation sont importantes, la vie est perdante : des espèces animales et végétales disparaîtront, et la face du monde sera changée pour des millénaires.

Les premiers signes du réchauffement actuel déjà visibles

Nous n'en sommes qu'aux premiers stades du réchauffement actuel, et il est difficile de prédire ce qui nous attend. Néanmoins, nous avons déjà quelques éléments de réponse. Comme l'ont résumé des rapports récents du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (le GIEC), les écosystèmes ont montré, par leur réaction, qu'ils sont sensibles au réchauffement. Des signes clairs indiquent que les eaux de surface s'acidifient, perturbant la vie marine. Les extinctions d'espèces sont en augmentation, et le déplacement des zones climatiques a déjà poussé des plantes et des animaux à migrer. Contrairement aux organismes vivants du maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène, les plantes et les animaux modernes sont bloqués dans leur migration vers des climats mieux adaptés : routes, voies ferrées, barrages, villes,

grandes et petites, sont autant d'obstacles qui mettent en danger leurs espèces. De nos jours, la plupart des grands animaux sont déjà *de facto* parqués dans de minuscules zones à cause de la disparition de leurs habitats ; dans de nombreux cas, leurs chances de rejoindre de nouvelles latitudes pour survivre seront nulles.

En outre, les glaciers et les banquises fondent et entraînent une élévation du niveau des mers ; les récifs coralliens sont de plus en plus victimes de maladies et de stress liés à la chaleur ; et les épisodes de sécheresse et d'inondations sont de plus en plus fréquents. Les changements des régimes de précipitations et le recul des côtes à mesure que la glace polaire fond pourraient entraîner des migrations humaines à des échelles sans précédent, dont certaines ont déjà commencé.

Le réchauffement climatique actuel est sur une trajectoire bien plus dangereuse que le maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène, mais il n'est peut-être pas trop tard pour éviter une catastrophe. Si toutes les nations prennent immédiatement des mesures pour réduire l'accumulation de dioxyde de carbone atmosphérique, le maximum thermique de la limite Paléocène-Éocène pourrait bien rester le dernier grand réchauffement global de l'histoire. ■

Entrée libre
→ www.cnrs.fr/entree-matiere

ENTRÉE EN MATIÈRE

Jardins du Trocadéro, du 19 au 30 octobre 2011

Exposition, conférences, animations
Une invitation à explorer la matière



Année internationale de la
CHIMIE
2011



www.cnrs.fr



énergie atomique • énergies alternatives



THALES



MAIRIE DE PARIS



Le Point

SCIENCE

Direct Matin



Le moustique,

Le décryptage du mécanisme par lequel les moustiques flairent les humains pourrait conduire à des pièges et des produits antimoustiques plus efficaces pour lutter contre le paludisme.

John Carlson et Allison Carey

Les moustiques qui disséminent le paludisme sont dotés de capacités olfactives puissantes et d'organes perfectionnés qui leur permettent de repérer et de prélever le sang humain. Alertés par les odeurs d'haleine ou de sueur, ils fondent sur leur proie, perforent la peau avec leurs mandibules en forme d'aiguille et infiltrent leur trompe par la coupure jusqu'à un vaisseau sanguin. Lors d'un tel repas, le parasite du paludisme s'introduit dans la blessure par la salive du moustique, provoquant la mort de près d'un million d'individus chaque année.

D'autres moustiques marquent une préférence pour telle ou telle espèce animale – bétail ou oiseaux, par exemple. Ceux qui s'attaquent à l'homme opèrent, semble-t-il, une sélection au sein même de l'espèce humaine, s'acharnant sur quelques-uns et laissant leurs voisins en paix. Certains repèrent leurs victimes à plus de 50 mètres.

Mieux comprendre le fonctionnement du système olfactif du moustique – et la façon dont il détecte le mélange unique de composés chimiques volatils qui caractérise son mets favori – permettrait de concevoir des moyens plus efficaces de masquer ces odeurs ou de brouiller les signaux des organes olfactifs du moustique afin d'empêcher qu'il ne pique. Nous avons effectué récemment un grand pas dans ce sens en décryptant la façon dont le moustique *Anopheles gambiae*, principal vecteur du parasite du paludisme en Afri-

que, détecte l'odeur de ses proies. Ces découvertes laissent entrevoir de nouveaux outils pour repousser ou piéger les moustiques, qui pourraient être utilisés en complément des mesures déjà mises en œuvre – principalement des moustiquaires imprégnées d'insecticides, utilisées tant dans les habitations que sur les cultures.

À la recherche des gènes de l'odorat

Pour étudier la façon dont les moustiques détectent leurs proies humaines, nous avons utilisé comme modèle la mouche du vinaigre, *Drosophila melanogaster*. La drosophile est le modèle favori des biologistes. Contrairement au moustique, elle s'y reproduit rapidement et sans difficulté, et ses gènes sont faciles à manipuler. On l'utilise donc pour mettre en évidence les mécanismes cellulaires et moléculaires de base du système olfactif de l'insecte. Les connaissances acquises sur cette mouche sont ensuite mises à profit pour réaliser les expériences sur le moustique, plus délicates.

À l'instar des moustiques, les drosophiles détectent les odeurs grâce à leurs antennes et leurs palpes maxillaires, organes qui avancent sur leur tête et ont fonction de nez. Ces organes sont hérissés de minuscules poils qui enveloppent les terminaisons axonales des neurones olfactifs (voir l'encadré page 50). Les molécules odorantes s'infiltrent dans les poils par des pores et

UN MOUSTIQUE FEMELLE *Anopheles gambiae* de quelques millimètres de long observé au microscope électronique. Sous les deux antennes poilues, on distingue, de part et d'autre de la trompe, les deux palpes maxillaires. Antennes et palpes sont ses organes olfactifs. Porteurs du parasite du paludisme, ces moustiques repèrent leurs proies principalement à l'odeur et, en les piquant pour se nourrir, disséminent le parasite.

David Sharf



expert en odeur humaine

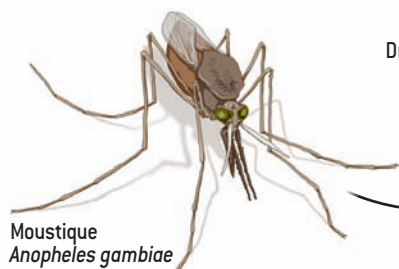
L'ESSENTIEL

- ✓ Les moustiques *Anopheles gambiae*, qui transmettent le paludisme en Afrique, distinguent l'odeur humaine à plusieurs mètres.
- ✓ En introduisant des gènes de récepteurs olfactifs du moustique chez des mouches, des biologistes ont créé des détecteurs olfactifs imitant l'odorat du moustique.
- ✓ L'identification des substances odorantes qui activent ces détecteurs permet d'envisager de nouveaux pièges et produits antimoustiques.

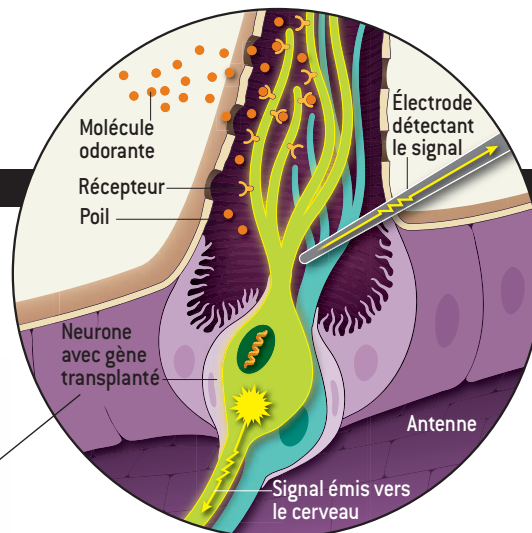
LE PRINCIPE DE L'EXPÉRIENCE

Des chercheurs ont identifié des récepteurs olfactifs du moustique *Anopheles gambiae* qui réagissent fortement aux odeurs humaines. Leur méthode : tester un grand nombre d'odeurs, une à une, sur chaque récepteur du moustique... chez une drosophile mutante.

❶ Un gène de récepteur olfactif du moustique est transplanté dans un neurone olfactif mutant de la mouche qui n'exprime aucun récepteur olfactif.



Drosophile



❷ Le gène conduit le neurone à produire un type de récepteur sur lequel ne se fixent que les molécules odorantes ayant la forme adéquate. Les molécules odorantes traversent les pores du poil et atteignent le neurone. Si ces molécules se lient au récepteur produit par le neurone, ce dernier envoie un signal au cerveau, indiquant la présence de l'odeur. Une électrode détecte le signal. Ce protocole est exécuté sur chaque récepteur à tester.

Tommy Moorman

atteignent les neurones olfactifs. À leur surface, elles se lient à des récepteurs olfactifs, molécules qui les reconnaissent spécifiquement. Lorsque des molécules odorantes se lient à leurs récepteurs, un signal électrique est émis par le neurone et atteint le cerveau de l'insecte, qui perçoit l'odeur.

Comment un insecte distingue-t-il avec précision les innombrables substances odorantes contenues dans l'environnement ? Pour le savoir, avec nombre d'autres biologistes, nous avons recherché pendant des années les gènes associés aux récepteurs olfactifs chez les insectes. Les premiers résultats ont été obtenus en 1999. Des membres de notre équipe, à l'Université Yale, et d'autres chercheurs ont découvert les premiers gènes codant des récepteurs olfactifs. Petit à petit, nous en avons repéré 60 chez la drosophile. Connaissant la séquence de leur ADN, nous allions pouvoir comprendre le fonctionnement des récepteurs, en étudiant la capacité olfactive des mouches en fonction de l'expression des gènes codant des récepteurs.

Simultanément, nous avons aussi découvert que la génétique du système olfactif est similaire chez la drosophile et chez le moustique. Étudier la mouche nous aiderait donc à comprendre l'odorat du moustique. L'arrivée fortuite, dans notre laboratoire, d'un mutant de *Drosophila melanogaster* accéléra nos recherches. Cette lignée mutante provenait d'un professeur de l'Université de Brandeis. En novembre 2001, l'un d'entre nous (John Carlson) avait organisé dans cette université un colloque sur *Or22a*, le premier gène de récep-

teur olfactif de la drosophile que nous avions découvert. Au terme d'un exposé, le professeur avait annoncé qu'il possédait une souche mutante de *Drosophila melanogaster* dépourvue du gène *Or22a* et avait offert sa collaboration, que nous nous étions empressés d'accepter.

Chaque odeur active une combinaison de récepteurs

Notre objectif principal consistait à déterminer quels récepteurs de drosophile répondaient à quelles molécules odorantes. Un neurone olfactif porte des milliers de récepteurs olfactifs, tous identiques. Chaque poil olfactif contient plusieurs neurones, chacun portant donc un type de récepteur particulier. Chaque type de récepteur ne reconnaît qu'un petit sous-ensemble de molécules odorantes. Les drosophiles mutantes étant dépourvues d'un gène de récepteur olfactif particulier (*Or22a*), nous avons supposé qu'un de leurs neurones olfactifs, qui aurait dû porter ce récepteur, n'exprimait aucun récepteur à cause de la mutation : les drosophiles mutantes présentaient-elles une sorte de neurone « vide » ?

C'était bien le cas : un des neurones de leurs antennes ne répondait à aucune odeur. À l'aide de techniques de génie génétique, nous avons introduit, chez des mouches mutantes, un gène de récepteur de drosophile dans ce neurone, qui s'est mis à produire ce type de récepteur. En utilisant cette méthode avec chaque récepteur dont nous

connaissions le gène, nous avons déterminé les substances odorantes qui l'activaient : en insérant un gène codant un récepteur olfactif particulier dans un neurone vide, puis en exposant ce neurone à un ensemble de composés odorants, nous avons défini les molécules qui déclenchent un signal électrique dans chacun des récepteurs présents chez la mouche.

C'est le travail qu'a accompli Elissa Halem, alors doctorante à Yale, au cours des trois années suivantes. Elle a ainsi découvert que chaque récepteur répond à un sous-ensemble restreint de molécules odorantes et que chaque molécule odorante active une combinaison particulière de récepteurs. Des résultats similaires ont été observés avec le système olfactif des mammifères. Ainsi, de la drosophile à l'homme, les animaux détectent les odeurs de façon similaire : différentes odeurs activent diverses combinaisons de récepteurs. Cette stratégie leur permet de distinguer un grand nombre d'odeurs présentes dans la nature sans pour autant que chaque récepteur soit dédié à chacune d'elles.

Après avoir caractérisé les gènes des récepteurs olfactifs chez la drosophile, nous sommes revenus au moustique porteur du paludisme : le neurone vide de la drosophile, qui nous avait permis d'analyser les propriétés de ses récepteurs olfactifs, pourrait-il nous servir aussi à caractériser les récepteurs du moustique ? En recherchant chez *Anopheles gambiae* des séquences d'ADN similaires à celles des gènes des récepteurs de la mouche, nous avons identifié, en collaboration avec Laurence Zwie-

bel, de l'Université Vanderbilt, dans le Tennessee, Hugh Robertson, de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, et leurs collègues, une famille de 79 gènes susceptibles de coder des récepteurs olfactifs. Transplanter un de ces gènes dans un neurone vide de drosophile devait en théorie produire un récepteur olfactif de moustique chez la mouche. Mais l'expérience pouvait aussi échouer : les deux espèces d'insectes sont séparées par 250 millions d'années d'évolution et le gène de moustique ne fonctionnerait peut-être pas dans un neurone de drosophile.

Des récepteurs liés à peu d'odeurs

Notre dispositif expérimental est relié à un haut-parleur. Si un neurone olfactif est stimulé, une électrode le détecte et l'enceinte produit une série de petits claquements. Nous avons testé une série de substances odorantes sur le premier neurone vide de drosophile dans lequel avait été introduit un gène de moustique. Le haut-parleur resta silencieux jusqu'à ce que le neurone soit mis en présence d'un composé nommé 4-méthylphénol. Or le 4-méthylphénol, qui dégage une odeur de chaussette sale, est un composant de la sueur humaine. Notre dispositif avait détecté une affinité récepteur-odeur ! En d'autres termes, nous avons découvert un moyen de décrypter quelles substances odorantes suscitent une réponse chez quels récepteurs du moustique.

Munis de ces résultats encourageants, nous avons étudié la littérature disponible sur les odeurs humaines et sélectionné 110 composés – dont beaucoup issus de la sueur – pour les tester. Nous avons choisi des composés de structures moléculaires variées pour que l'échantillonnage soit le plus vaste possible. Puis nous avons introduit un par un les 79 gènes de récepteurs possibles de l'*Anopheles gambiae* dans des neurones vides. Cinquante de ces gènes se sont révélés fonctionnels dans notre dispositif expérimental. Nous avons alors entrepris de tester les 110 composés odorants sur ces 50 récepteurs, créant plus de 5 500 combinaisons récepteur-substance odorante.

À partir de ces données, nous avons identifié plusieurs récepteurs qui réagissaient fortement à un unique composé ou à un tout petit nombre de molécules. Ces récepteurs à spectre restreint nous intéressaient tout particulièrement : nous avons fait l'hypothèse que pour détecter un

LES AUTEURS



John CARLSON est professeur de biologie moléculaire, cellulaire et du développement à l'Université Yale. Allison CAREY, docteur en neurosciences de l'Université Yale, effectue un postdoctorat à l'Institut Pasteur, à Paris.

✓ BIBLIOGRAPHIE

A. F. Carey *et al.*, *Odorant Reception in the Malaria Mosquito Anopheles gambiae*, *Nature*, vol. 464, pp. 66-71, 2010.

J.-M. Hougard, *Les moustiquaires imprégnées*, *Pour la Science*, n° 366, pp. 48-52, 2008.

Cl. Panosian Dunavan, *La lutte contre le paludisme*, *Pour la Science*, n° 343, pp. 42-48, 2006.

W. van der Goes van Naters et J. R. Carlson, *Insects as chemosensors of humans and crops*, *Nature*, vol. 444, pp. 302-307, 2006.

L. J. Zwiebel et W. Takken, *Olfactory regulation of mosquito-host interactions*, *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, vol. 34, n° 7, pp. 645-652, 2004.

✓ SUR LE WEB

Page de l'Organisation mondiale de la santé sur le paludisme : www.who.int/malaria/fr/

Photographies en microscopie électronique à balayage du système olfactif du moustique *Anopheles gambiae* : ScientificAmerican.com/jul2011/carlson

composé spécifique avec acuité – une substance signalant la proximité d'une source de sang, par exemple –, un moustique utilisait peut-être un récepteur dédié à la perception de ce composé. De fait, nous avons découvert que la plupart de ces récepteurs à spectre étroit répondent à des composants de la sueur humaine. Par exemple, le premier récepteur de moustique testé par E. Hallem dans le neurone vide – le récepteur qui a répondu de façon si intense au 4-méthylphénol – est de ce type. Sur les 110 composés odorants, seuls quelques autres excitent à ce point ce récepteur. Un autre récepteur a réagi très fortement et spécifiquement à l'1-octen-3-ol (octénol), que l'on retrouve à la fois dans l'odeur humaine et dans l'odeur animale. Il attire plusieurs espèces de moustiques, dont le *Culex pipiens*, répandu dans les jardins aux États-Unis et porteur du virus du Nil occidental. Certains pièges à moustiques utilisés par les particuliers dans les jardins diffusent cette substance.

Neutraliser le moustique en l'embrouillant

Ces résultats pourraient accélérer le développement de pièges et de produits anti-moustiques plus efficaces. Une méthode classique pour tester le pouvoir attractif de substances chimiques consiste à placer ces substances dans des pièges *in situ* et voir si elles attirent les moustiques. Toutefois, ce processus est lent et ne permet de tester qu'un nombre limité de composés chimiques. Les expériences classiques en laboratoire ont aussi leurs inconvénients. Souvent, elles consistent à enduire d'un composé le bras de volontaires, avant de l'insérer dans une boîte transparente contenant des dizaines de moustiques ; les substances qui repoussent les moustiques dans ce système sont alors envisagées comme produits antimoustiques.

Notre approche permet de tester un nombre de composés chimiques beaucoup plus important, ce qui augmente la probabilité de découvrir de nouvelles méthodes pour piéger ou éloigner les moustiques – qui plus est, sans avoir recours à des sujets humains. L. Zwiebel, par exemple, utilise des récepteurs olfactifs d'*Anopheles gambiae* exprimés dans des cellules cultivées en laboratoire. Des robots exposent ces cellules à des milliers de composés en

Vers une application concrète

Les résultats de John Carlson et Allison Carey permettent d'entrevoir de nouvelles perspectives de recherche à plus ou moins long terme dans la lutte contre les moustiques qui transmettent le paludisme. Les méthodes classiques à base d'insecticides se heurtent au développement drastique de la résistance des moustiques aux principales molécules utilisées en santé publique, notamment les pyréthrinoides. De plus, les stratégies préconisées par l'Organisation mondiale de la santé – moustiquaires imprégnées d'insecticides, pulvérisations d'insecticide dans les domiciles – visent à protéger les populations humaines dans les habitations, alors qu'une fraction non négligeable de moustiques vecteurs du paludisme piquent à l'extérieur et même parfois à des heures matinales (lorsque les gens ne sont plus sous moustiquaires). La découverte de récepteurs olfactifs répondant fortement aux odeurs libérées par l'homme aidera à développer des pièges à moustiques plus performants et spécifiques que ceux disponibles actuellement (pièges lumi-

neux ou pièges au dioxyde de carbone...). De même, la découverte de récepteurs olfactifs inhibés par certaines molécules volatiles devrait permettre d'identifier et de synthétiser de nouveaux répulsifs plus efficaces pour brouiller la localisation de l'hôte et ainsi mieux protéger les utilisateurs.

Depuis quelques années, les chercheurs, notamment de l'Institut de recherche pour le développement (IRD), travaillent sur des nouvelles stratégies de lutte fondées sur la modification du comportement des moustiques. Au lieu de tuer les moustiques, on cherche par exemple à les repousser hors des habitations à l'aide de molécules dites « excito-répulsives », qui agissent à la fois sur leur système nerveux périphérique et sur leur système olfactif, puis à les capturer à l'extérieur grâce à des pièges à odeur spécifiques de l'espèce. D'autres résultats encourageants ont été obtenus en combinant, sur des moustiquaires, des répulsifs et des insecticides non pyréthrinoides, afin d'obtenir une protection personnelle efficace et un effet létal

puissant sur les moustiques vecteurs tout en évitant de sélectionner des moustiques résistants aux pyréthrinoides. Les molécules perturbant le système olfactif des moustiques pourraient fournir de nouvelles pistes pour améliorer l'effet protecteur des moustiquaires imprégnées.

À plus long terme, l'identification des récepteurs olfactifs répondant spécifiquement aux odeurs de l'homme offrirait des perspectives intéressantes en matière de lutte génétique. On pourrait par exemple envisager la dissémination de moustiques vecteurs génétiquement modifiés, dépourvus de gènes codant les récepteurs olfactifs impliqués spécifiquement dans le repérage de l'homme. En attendant de pouvoir vivre « en harmonie » avec des moustiques exclusivement zoophiles, il est conseillé de dormir sous des moustiquaires imprégnées d'insecticides et d'utiliser des répulsifs appropriés (voir le site Internet de l'AFSSAPS) lors de séjour en zones tropicales...

Vincent Corbel

Entomologiste médical,
IRD (Bénin)

Un piège olfactif ne requiert qu'une petite quantité de produit, car les moustiques sont très sensibles à ces signaux. De même, les substances attractives courantes de la sueur humaine et de l'haleine ne devraient pas être nocives à petite dose. Et si des produits toxiques étaient introduits dans la composition de ces pièges, ce serait en quantité limitée.

Vers un contrôle plus ciblé

En outre, le contrôle olfactif des insectes serait bien plus précis que celui effectué avec un insecticide. D'après nos données, la plupart des récepteurs olfactifs à spectre restreint des *Anopheles gambiae* sont activés par des composés de la sueur humaine, alors que ceux de la drosophile sont sensibles aux substances volatiles émises par les fruits. On pourrait envisager des mélanges de produits qui leurreraient spécifiquement tel ou tel insecte, limitant ainsi l'empreinte du procédé sur l'environnement. Et s'ils se révélaient efficaces, les cocktails de composés seraient à privilégier par rapport aux composés uniques, car les populations de moustiques sont moins susceptibles de développer une résistance à leur égard.

Reste à remplir les exigences liées au développement à grande échelle de ces procédés. Pour une utilisation généralisée dans les régions défavorisées, les agents olfactifs devront être conditionnés à peu de frais. Les bombes aérosol, par exemple, répandues dans les pays riches, ne sont pas adaptées aux zones rurales des pays en développement. Les produits attractifs et répulsifs fabriqués devront aussi rester stables sous les chaleurs tropicales. Diverses stratégies sont d'ores et déjà envisagées (voir l'encadré ci-contre).

Le paludisme ne sera éradiqué que par une action diversifiée. Certes, les moustiquaires et des médicaments toujours plus efficaces continueront de jouer un rôle essentiel. Et les chercheurs restent déterminés à mettre au point un vaccin. Néanmoins, il est urgent de développer des outils supplémentaires pour combattre cette maladie. Manipuler avec précision le comportement des moustiques par le biais de leurs facultés olfactives pourrait être l'un de ces outils. À l'échelle d'une maladie qui affecte chaque année des centaines de millions de personnes, même une contribution modeste peut sauver nombre de vies. ■

seulement quelques heures. L. Zwiebel a déjà passé au crible plus de 200 000 composés, et plus de 400 d'entre eux ont activé ou inhibé les récepteurs olfactifs. Ces composés seront ensuite analysés et testés plus avant, et les meilleurs feront l'objet d'essais sur le terrain.

Le travail de laboratoire permet aussi de tester des composés agissant comme des « superactivateurs », c'est-à-dire des composés qui brouillent les neurones olfactifs en les surexcitant à tel point que leurs signaux désactivent ou déroutent le cerveau des moustiques. Ce type de composés pourrait, par exemple, être diffusé à proximité des habitations où dorment les villageois en Afrique subsaharienne, empêchant ainsi les moustiques de parvenir jusqu'à eux.

Ces tests en laboratoire permettraient aussi d'identifier des molécules qui inhiberaient les récepteurs olfactifs à spectre

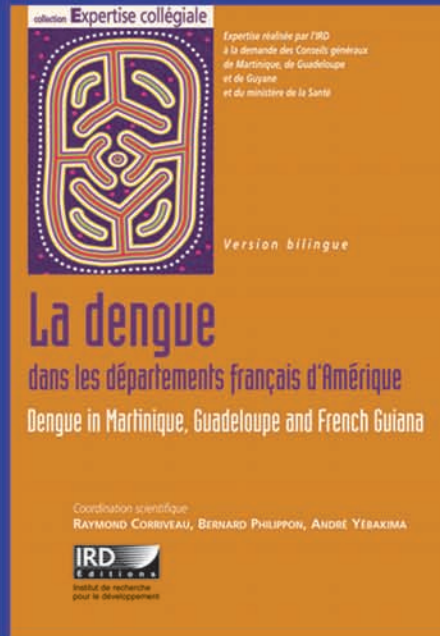
restreint, empêchant ainsi les insectes de sentir leur proie. Ces agents masquants pourraient être disséminés près des lieux d'habitation ou utilisés en tant que produits antimoustiques à appliquer sur la peau. Des composés perçus comme offensifs par les moustiques seraient aussi introduits dans la composition des antimoustiques. Nos collègues de l'Université de Wageningen, en Hollande, testent sur *Anopheles gambiae* des mélanges des composés que nous avons identifiés afin de déterminer s'ils pourraient être utiles dans l'une ou l'autre approche. Ils ont d'ores et déjà trouvé plusieurs combinaisons efficaces.

Par le passé, de nombreuses méthodes utilisées pour contrôler les insectes, tel l'usage à grande échelle de l'insecticide DDT, ont été nocives pour les animaux et, sans doute aussi, pour l'homme. Les méthodes de contrôle fondées sur l'olfaction seraient beaucoup moins nuisibles.

Un éditeur pour le développement



978-2-7099-1667-7
15 €



978-2-7099-1532-4
15 €



978-2-7099-1453-0
Cédérom



978-2-7099-1498-0
Cédérom



978-2-7099-1662-2
48 €



978-2-7099-1446-8
Cédérom



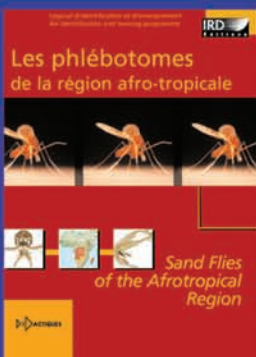
978-2-7099-1379-8
Cédérom



978-2-7099-1380-1
Cédérom



978-2-7099-1485-9
Cédérom



978-2-7099-1499-9
Cédérom



978-2-7099-1624-0
21 €



978-2-7099-1567-7
22 €



978-2-7099-1514-6
26 €

**Diffusion libraires
Eyrolles/Géodif**

**Vente par
correspondance
IRD Diffusion**
32, av. Varagnat
F 93143 Bondy cedex
Tél : 01 48 02 56 49
Fax : 01 48 02 79 09
diffusion@ird.fr