

aérienne en avaient. M. Grimm a éliminé quatre autres victimes sur la base de détails fins des boucles.

Pendant ce temps, avec le généalogiste Chriss Lyon, nous avons recherché des parents vivants des autres victimes, afin de récupérer des échantillons de référence d'ADN mitochondrial. Au mois de septembre 2007, 13 des 30 hommes avaient été éliminés uniquement par leur ADN, neuf sur la base des empreintes digitales seules, et cinq par l'ADN et par les empreintes digitales. Cela laissait trois hommes: le chef de cabine Robert Haslett et les passagers Francis van Zandt et John Elkins.

Les fiches d'empreintes d'Haslett étaient presque inutilisables et aucun parent matrilineaire vivant n'avait été retrouvé, de sorte que nous ne disposions pas d'ADN mitochondrial de référence pour cet homme. Haslett avait un fils, Randall, mais son ADN mitochondrial ne pouvait donner d'indices sur son père. O. Loreille a alors exploité le chromosome Y, identique chez un père et son fils. Elle a utilisé des techniques avancées pour établir un profil partiel de l'ADN du chromosome Y de la victime inconnue à partir des faibles quantités d'ADN disponibles dans les noyaux des cellules du bras. Ce profil ne correspondait pas à celui de Randall.

Ne restaient plus que deux sujets possibles, van Zandt et Elkins. Les membres de la famille d'Elkins ont refusé de donner leur ADN, et ses fiches d'empreintes digitales étaient trop tachées pour être utilisables. En revanche, les recherches sur van Zandt ont été plus fructueuses.

La longue quête d'une lignée matrilineaire

Après un premier échec dans la quête d'une lignée matrilineaire aux États-Unis, nous avons prospecté en Irlande, car la mère de van Zandt était d'origine irlandaise. Grâce à de patientes recherches dans les registres d'état civil et les registres paroissiaux, nous avons retrouvé un de ses cousins éloignés, Maurice Conway, qui lui est lié par une lignée matrilineaire: son arrière-arrière-grand-mère maternelle était la sœur de la grand-mère de van Zandt! Puisque M. Conway était un parent matrilineaire, un échantillon de son ADN mitochondrial pouvait servir à l'identification.

O. Loreille a comparé l'ADN mitochondrial du bras sorti des glaces avec tous

les échantillons de référence disponibles pour les hommes du vol 4422. Seul celui du cousin de van Zandt correspondait. Pour bénéficier d'une confirmation supplémentaire, nous avons analysé l'ADN du chromosome Y du fils du frère de van Zandt: il correspondait parfaitement avec celui du bras.

Entre-temps, la recherche d'empreintes digitales de référence avait connu un rebondissement. Les 24 passagers disparus appartenaient à la marine marchande américaine et T. Robinson et M. Grimm avaient découvert que le *National Maritime Center* disposait des empreintes d'un grand nombre de marins, relevées lorsqu'ils s'engageaient à bord d'un bateau. Ces nouvelles fiches ont fourni pour la première fois les empreintes de van Zandt, de sorte que les enquêteurs ont pu constater qu'elles correspondaient à celles de la main découverte.

LES RESTES DE VAN ZANDT

sont les plus anciens jamais identifiés grâce à des empreintes digitales.

Ainsi, les restes de van Zandt sont les plus anciens jamais identifiés grâce à des empreintes digitales. En outre, ces analyses s'ajoutent à celles de l'ADN, fournissant des résultats indépendants et concordants.

O. Loreille poursuit désormais ses recherches visant à identifier les corps des soldats inconnus de la guerre de Corée. Elle profite de l'expérience acquise dans l'extraction de l'ADN et des nouvelles techniques de séquençage. Dans un futur proche, celles-ci pourraient autoriser les identifications au moyen de quantités infimes d'ADN, applicables tant à des soldats décédés depuis longtemps qu'à des victimes de catastrophes.

Nos résultats ont aussi mis en évidence l'importance des collaborations interdisciplinaires. Si les experts en analyse d'ADN, en empreintes digitales et en généalogie sont souvent confrontés aux mêmes questions concernant l'identité d'inconnus, ils restent le plus souvent cantonnés à leurs domaines respectifs. Notre enquête sur le vol 4422 de la *Northwest Airlines* a montré que la conjonction d'expertises issues d'horizons divers permet de résoudre les énigmes difficiles. ■

L'AUTEUR



Colleen FITZPATRICK est
généalogiste scientifique
à Huntington Beach,
en Californie.

✓ BIBLIOGRAPHIE

F. Brard et Y. Malignon, L'ADN, auxiliaire de justice, *Dossier Pour la Science* n° 70, janvier-mars 2011.

N. Thiburce, L'empreinte digitale, une preuve infaillible ?, *Dossier Pour la Science* n° 70, janvier-mars 2011.

J.-P. Beauthier, *Traité de médecine légale*, De Boeck, 2011.

O. Loreille et al., Integrated DNA and fingerprint analyses in the identification of 60-Year-Old mummified human remains discovered in an Alaskan glacier, *Journal of Forensic Sciences*, vol. 55, pp. 813-818, mai 2010. www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/20384910



Les cellules

Dans les années 1920, un doctorant de l'Université Harvard, Clyde Keeler, élevait des souris aveugles dans sa chambre d'étudiant. Il découvrit que les pupilles de ces animaux se contractaient à la lumière ambiante, mais plus lentement que chez les souris qui voient normalement. D'autres neurobiologistes ont montré que des souris dépourvues de bâtonnets et de cônes (les photorécepteurs de l'œil) réagissent aux variations de luminosité. Chez ces rongeurs, l'horloge circadienne – l'horloge interne qui synchronise l'activité hormonale, la température corporelle et l'alternance de l'éveil et du sommeil – fonctionne correctement. Les animaux vaquaient à leurs activités diurnes durant la journée, et à leurs activités nocturnes la nuit. De façon surprenante, ils en étaient capables malgré l'absence des photorécepteurs nécessaires à la vision chez les vertébrés, mais l'ablation des yeux supprimait cette capacité. Ce phénomène pourrait être courant chez les mammifères dont l'homme : des expériences récentes ont montré que

le rythme circadien est respecté chez certains aveugles, chez qui les pupilles restent capables de se contracter à la lumière. Comment expliquer cet apparent paradoxe ? En admettant que les photorécepteurs de l'œil nécessaires à la vision ne soient pas responsables de la régulation du rythme circadien, d'autres récepteurs auraient cette fonction. Pourtant, bien que la rétine soit l'un des tissus les mieux étudiés, le dogme voulait que les bâtonnets et les cônes soient les seuls photorécepteurs de l'œil.

Toutefois, on sait aujourd'hui que les yeux des mammifères sont pourvus de récepteurs spécialisés dont la formation des images n'est pas la fonction principale. Les molécules qui détectent la lumière dans

LA RÉTINE CONTIENT les cellules photoréceptrices de la vision : les cônes et les bâtonnets. Un troisième type de cellules sensibles à la lumière, les cellules ganglionnaires photosensibles, y sont également localisées : elles contrôlent l'alternance de l'éveil et du sommeil.

oubliées de l'œil

Ignacio Provencio

L'alternance de l'éveil et du sommeil est contrôlée par des cellules sensibles à la lumière situées dans l'œil. Leur étude pourrait conduire à de nouveaux traitements de la dépression saisonnière et autres troubles de l'humeur liés à un manque de lumière.

ces cellules sont différentes de celles présentes dans les cônes et les bâtonnets, et ces cellules sont connectées à d'autres aires cérébrales. En conséquence, de même que les oreilles assurent deux fonctions, l'équilibre et l'audition, les yeux se chargent de la vision, de la régulation du rythme circadien et de la dilatation des pupilles.

Les cellules oubliées de la rétine

Les biologistes connaissent depuis longtemps des animaux ayant des organes sensibles à la lumière, mais qui ne forment pas d'images. Une modification de l'illumination peut signaler à un animal qu'il est exposé à la lumière, et par conséquent à des prédateurs, ou qu'il risque d'éventuelles lésions dues au rayonnement ultraviolet du Soleil. De nombreuses parades ont été sélectionnées au cours de l'évolution, telles que le camouflage, des techniques de fuite et l'adaptation à l'obscurité. Ces stratégies nécessitent un système de

détection de la lumière, mais pas un système visuel au sens propre. Ainsi, en 1911, le zoologue autrichien et futur prix Nobel Karl von Frisch avait remarqué que les vairons, de petits poissons d'eau douce, même aveugles, devenaient plus foncés dès lors qu'ils étaient exposés à la lumière. Des lésions de la base du cerveau abolissaient ce type de réactions ; cela avait conduit von Frisch à proposer l'existence de photorécepteurs non visuels.

Il s'avère que de nombreuses espèces sont dotées de ce type de cellules sensibles à la lumière. Au début des années 1970, Michael Menaker, alors à l'Université du Texas à Austin, avait montré que l'horloge circadienne des moineaux sans yeux fonctionne correctement. Des expériences ultérieures ont établi que les oiseaux ont, dans leur cerveau, des cellules sensibles à la lumière. C'est alors qu'on a découvert qu'une quantité notable de lumière pénètre par les plumes, la peau et le crâne des oiseaux, et active ces cellules.

Les mammifères étaient-ils également dotés de cellules photosensibles non impliquées dans la vision ? C'est ce que les

L'ESSENTIEL

- ✓ Chez certaines personnes qui ne voient pas, l'horloge interne respecte pourtant le rythme circadien.
- ✓ L'horloge interne fonctionne grâce aux cellules ganglionnaires photosensibles de la rétine.
- ✓ Ces cellules sont particulièrement sensibles à la lumière bleue et seraient des vestiges d'organes primitifs.
- ✓ Ces découvertes pourraient aboutir à de nouveaux traitements de la dépression saisonnière et de certains troubles du sommeil.

© Shutterstock/Italiana Makotra

L'AUTEUR



Ignacio PROVENCIO est maître de conférences en biologie à l'Université de Virginie, à Charlottesville, aux États-Unis.

travaux de Keeler, dans les années 1920, semblaient indiquer, au moins dans le cas de ses souris aveugles. Comme on connaissait bien l'anatomie de la rétine des mammifères, on supposa que l'énigmatique organe photosensible n'était pas localisé dans l'œil. Au début des années 1980, Randy Nelson et Irving Zucker, de l'Université de Berkeley, ont étudié des rongeurs privés d'yeux et remirent cette hypothèse en question. Chez ces animaux, le rythme circadien ne s'accordait pas avec l'alternance du jour et de la nuit : les récepteurs photosensibles se trouvaient donc bien dans l'œil.

M. Menaker, à l'Université de l'Oregon, étudia le rôle des yeux des souris dans ces réponses photosensibles sans formation d'images. Avec Joseph Takahashi et David Hudson, il examina des souris mutantes, dépourvues de cônes et de

non visuelles à la lumière. Ces résultats ne laissaient qu'une seule interprétation possible : l'œil contient un type de photorécepteurs encore inconnu.

Proposition hérétique ! Les cellules de la rétine impliquées dans la formation des images sont connues depuis les années 1850. Un troisième type de cellules photosensibles présentes dans la rétine n'avait pas pu passer inaperçu !

Et pourtant, au milieu des années 1990, à l'Université des sciences de la santé à Bethesda, nous avons montré, avec Mark Rollag, que R. Foster avait raison. M. Rollag s'intéressait à des photorécepteurs non visuels qui assuraient le camouflage des amphibiens. Des cellules pigmentées présentes dans la queue des têtards devenaient plus foncées à la lumière, une réponse adaptative qui contribuait à camoufler l'animal exposé à la lumière. Ces cellules, nommées mélanophores dermiques, conservaient leur propriété quand elles étaient prélevées et placées en culture. Nous avons identifié, dans ces cellules, une protéine dont la composition est remarquablement similaire à celle des opsines, des pigments qui permettent aux cônes et aux bâtonnets de détecter la lumière. Nous l'avons nommée mélanopsine.

À la découverte des cellules ganglionnaires

Nous pensons que la mélanopsine, si proche des opsines, était la molécule qui modifiait la couleur des amphibiens. Nous avons cherché la mélanopsine dans d'autres cellules photosensibles de la grenouille, prélevées dans le cerveau, l'iris et la rétine de l'œil. Ni les cônes ni les bâtonnets ne contenaient cette nouvelle protéine, qui était cependant présente dans une faible proportion des cellules ganglionnaires, des neurones de la rétine dont on ignorait qu'ils étaient sensibles à la lumière.

La rétine des vertébrés est une structure à trois couches. La plus externe contient les cônes et les bâtonnets, si bien que la lumière doit traverser les deux autres couches avant d'être détectée par ces photorécepteurs (voir l'encadré page ci-contre). L'information codée par les cônes et les bâtonnets est transférée à la couche centrale, où elle est traitée par plusieurs types de cellules. Enfin, ces cellules transmettent le signal traité à la couche la plus

EN PLUS DES CÔNES ET DES BÂTONNETS, les yeux des mammifères possèdent des récepteurs photosensibles non impliqués dans la formation des images.

bâtonnets fonctionnels (avec seulement quelques cônes faiblement actifs). Ils ont constaté que ces souris aveugles s'activent la nuit et se reposent le jour, comme le font les souris normales.

Les quelques cônes qui restaient étaient-ils capables d'assurer une réponse non visuelle à la lumière ? En 1999, l'équipe de Russell Foster, à l'Imperial College de Londres, a utilisé des souris mutantes totalement dépourvues de cônes et de bâtonnets pour montrer que ces cellules ne sont pas indispensables aux réponses

Le dérèglement de l'horloge biologique

Le décalage horaire est la manifestation la plus évidente de la perte de synchronisation entre le cycle jour-nuit et l'horloge interne. Le travail de nuit, qui décale totalement l'horloge interne, augmenterait les risques de maladies cardiovasculaires, de troubles gastro-intestinaux ou de cancer et favoriserait le diabète (de type 2) et les accidents vasculaires cérébraux. Une partie des accidents industriels, comme le

nauffrage du pétrolier *Exxon Valdez* en 1989, l'explosion de l'usine *Union Carbide* à Bhopal en Inde en 1984, ou l'accident nucléaire de la centrale de Three Mile Island en 1979, se sont produits la nuit lorsque la vigilance est réduite. Le cas des accidents de la route de nuit est similaire, les conducteurs sont moins attentifs et parfois s'endorment au volant. De surcroît, de nombreuses personnes vivant à des latitudes

extrêmes souffrent d'une dépression saisonnière grave, qui semble notamment due au manque de lumière pendant les courtes journées d'hiver. La découverte du troisième type de photorécepteurs dans la rétine, contrôlant le rythme circadien, et la compréhension de son fonctionnement permettront peut-être de minimiser les effets néfastes du décalage horaire, du travail de nuit et du manque de lumière en hiver.