

ACTUELLEMENT EN KIOSQUE



Dossier Pour la Science n° 74

Les mathématiques ont leurs sept merveilles ! Il s'agit des sept problèmes du millénaire, mis à prix à un million de dollars chacun par l'Institut Clay de mathématiques en 2000. Mais l'intelligence des mathématiciens est aussi mise à l'épreuve par bien d'autres problèmes, tels ceux de Hilbert. Découvrez dans ce numéro comment ces énigmes orientent l'avenir de la discipline ouvrant la voie à de nouvelles connaissances fondamentales.

Parution de janvier/mars 2012 – Prix : 6,95 €

Cerveau & Psycho n° 49

Grâce aux progrès de l'imagerie cérébrale, l'architecture du cerveau se précise. Cette exploration – tout aussi passionnante que celle de l'Univers – sous-tend des enjeux de taille : comprendre la naissance de la pensée et l'émergence de la conscience. Au sommaire également : Les images subliminales influent-elles sur nos comportements ? Comment vaincre sa phobie du dentiste ?

Parution de janvier / février 2012 – Prix : 6,95 €



L'Essentiel Cerveau & Psycho n° 8

Aujourd'hui, d'innombrables résultats de recherche confirment que les enfants – mais aussi les adolescents et les adultes – soumis à la violence (images, jeux vidéo, etc.) sont eux-mêmes plus violents, moins sensibles aux violences faites à autrui. Sociologues, psychologues, psychiatres cherchent à identifier les causes de la violence pour mieux la combattre.

Parution de novembre 2011/janvier 2012 – Prix : 6,95 €

POUR LA
SCIENCE

Un bras dans la GLACE

Colleen Fitzpatrick

De nouvelles techniques d'analyse d'empreintes digitales et d'ADN ont permis d'identifier le propriétaire d'un bras retrouvé 60 ans après une catastrophe aérienne.

L'ESSENTIEL

- ✓ Plus d'un demi-siècle après une catastrophe aérienne ayant causé la mort de tous les passagers, on a retrouvé un bras et une main sur le lieu de l'accident.
- ✓ Les premières analyses des empreintes digitales et de l'ADN de ces restes humains n'ont pas permis d'identifier l'individu correspondant.
- ✓ Des chercheurs ont fini par y parvenir après avoir mis au point de nouvelles techniques, qui pourraient être utilisées pour identifier des victimes de catastrophes ou des soldats morts au combat.

Le 12 mars 1948, le vol numéro 4422 de la *Northwest Airlines* s'écrase sur le mont Sanford, situé dans une chaîne de montagnes isolée à l'Est de l'Alaska. Les 24 passagers et les six membres d'équipage sont tués sur le coup. Les débris, inaccessibles pour les équipes de secours, sont vite recouverts de neige, puis emprisonnés dans la glace.

Les efforts pour les récupérer sont restés vains jusqu'à l'intervention, en 1999, de Kevin McGregor et Marc Millican, deux anciens pilotes de l'armée américaine. Les deux hommes, passionnés par l'histoire de l'aviation, ont montré que le glacier avait reculé, sans doute assez pour avoir libéré l'appareil. Munis des autorisations nécessaires pour rapporter d'éventuels débris, ils sont partis à la recherche de l'épave. Après une ascension difficile, ils ont découvert des restes d'avion éparpillés, ainsi qu'un bras et une main gauches pris dans la glace. Dès lors, ils se sont donné pour mission d'identifier le propriétaire de ces restes.

Leur initiative a débouché sur une collaboration inhabituelle entre des experts en

analyse d'ADN, en empreintes digitales et en généalogie scientifique – collaboration à laquelle j'ai pris part, en tant que spécialiste de ce dernier domaine. Nous avons fini par déterminer à qui appartenaient les restes découverts, et ce succès sera sans doute utile dans bien d'autres cas : certaines des techniques mises au point au cours de l'enquête pourraient aider à identifier les victimes de grandes catastrophes et les soldats morts à la guerre. Voyons comment cette enquête s'est déroulée.

Revers initiaux

La découverte de restes humains a entraîné l'intervention des forces de l'ordre d'Alaska. Un policier a libéré le bras de la glace et l'a transporté jusqu'au laboratoire du médecin légiste d'Anchorage, à environ 320 kilomètres de là. Après avoir relevé les empreintes digitales, le légiste a pris les dispositions nécessaires pour assurer une bonne conservation du membre.

Celui-ci ne présentait aucun signe distinctif, tels un tatouage ou une particula-

rité anatomique, qui aurait permis une identification rapide. Dès lors, seules des analyses d'empreintes digitales et d'ADN pouvaient livrer l'identité du propriétaire. Mais après trois ans d'efforts infructueux, les spécialistes ont conclu à l'inefficacité des méthodes traditionnelles. En outre, ils n'avaient pas réussi à collecter toutes les empreintes digitales des passagers : ils ne disposaient que de 22 fiches pour les 30 personnes décédées. Pour huit victimes, dont les six membres d'équipage, aucune empreinte digitale de référence n'était disponible. Et même avec une série complète d'empreintes de référence, la main était si abîmée que le bureau de médecine légale d'Alaska aurait été incapable d'identifier la victime.

L'analyse d'ADN n'a pas été plus performante. Le bureau de médecine légale

avait envoyé un échantillon de tissu du bras à un laboratoire, dont la conclusion fut sans appel : le matériau biologique était « dégradé à un point tel que les brins d'ADN étaient trop petits pour fournir des résultats ».

En 2002, K. McGregor et M. Millican ont cherché un spécialiste de l'ADN ancien. Ils ont d'abord recouru à Ryan Parr, de la Société *Genesis Genomics* (aujourd'hui *Mitomics*) puis, en 2006, à Odile Loreille, du Laboratoire d'identification par l'ADN des forces armées (AFDIL) situé à Rockville, dans le Maryland. Elle analyse l'ADN extrait de fossiles. Plutôt que d'étudier l'ADN du noyau cellulaire, elle se fonde sur celui des mitochondries, les organites produisant l'énergie des cellules. Comme l'ADN mitochondrial est beaucoup plus abondant que l'ADN nucléaire, il aug-

mente les chances d'identifier des restes humains très dégradés.

O. Loreille a manifesté un intérêt immédiat pour le projet. Elle avait rejoint l'AFDIL pour identifier les restes de plus de 800 soldats américains, tombés pendant la guerre de Corée et enterrés pour la plupart à Hawaï, au Mémorial américain du Pacifique. Le formol utilisé pour conserver les corps avait endommagé leur ADN, et elle espérait mettre au point de nouvelles techniques, qu'elle pourrait ensuite exploiter dans son projet, pour

1. LE BRAS dégagé des décombres du vol 4422 de la *Northwest Airlines* a nécessité neuf ans d'études pour que l'on identifie son propriétaire. Les causes de l'accident sont encore inconnues. L'avion avait dévié de sa route et s'est écrasé sur la montagne.



identifier le propriétaire du bras découvert dans la glace.

O. Loreille a utilisé de l'ADN extrait du tissu osseux du bras, car il est généralement mieux protégé des contaminations par l'environnement et par les manipulations que celui des tissus mous (peau, muscles, etc.). Ainsi, on s'est servi d'ADN osseux pour identifier les victimes du tsunami de 2004 en Thaïlande. Peu de temps auparavant, O. Loreille avait élaboré une méthode pour séparer efficacement l'os des résidus de formol. Toutefois, même cette méthode avait peu de chances de fournir assez d'ADN. La généticienne a alors développé un procédé de déminéralisation, consistant à dissoudre totalement la matrice osseuse : de la sorte, elle a récolté juste assez d'ADN mitochondrial pour une analyse.

Bien sûr, l'extraction de l'ADN ne représentait que la moitié du chemin. Pour que l'on puisse identifier la personne dont on avait retrouvé le bras, il fallait comparer l'ADN mitochondrial à celui d'un parent de chacun des disparus. Comme l'ADN mitochondrial est transmis aux enfants uniquement *via* la mère, tout parent masculin ou féminin d'une lignée matrilinéaire – un cousin dont la mère serait la sœur de la mère du sujet, par exemple – conviendrait. La nécessité d'un lien matrilinéaire a compliqué la recherche de parents éloignés, car les femmes changent souvent de nom de famille à leur mariage. C'est à ce

stade que l'on a requis mes compétences de généalogiste scientifique, afin de retrouver des parents en mesure de fournir de l'ADN mitochondrial.

Cette recherche étant difficile, était-il possible de ne l'effectuer que pour quelques-uns des disparus ? En d'autres termes, pouvions-nous éliminer certaines possibilités par d'autres moyens ? Pour le savoir, O. Loreille s'est tournée en 2007 vers Ted Robinson, professeur assistant en criminalistique à l'Université George Washington. Il a effectué une nouvelle analyse des empreintes digitales, grâce à des techniques améliorant la qualité des empreintes dégradées – nous y reviendrons.

Présentons d'abord les principes de l'identification par empreintes digitales. Une telle identification se fonde sur trois types de détails, du plus grossier au plus fin (*voir la figure ci-dessous*). Le premier prend en compte le dessin général des crêtes (les lignes des empreintes, qui permettent aux doigts d'adhérer aux objets). Plusieurs catégories de dessins existent, chaque doigt n'en présentant qu'une : le faisceau de crêtes peut par exemple former une boucle, orientée vers la droite ou vers la gauche. Les détails du deuxième type sont nommés minuties. Il s'agit de points singuliers, ou points de Galton, nommés ainsi en l'honneur de sir Francis Galton, dont les travaux ont jeté les bases du système moderne de dactyloscopie

(l'étude des dessins digitaux) à la fin du XIX^e siècle. Les minuties comprennent par exemple les points où une ligne bifurque ou s'arrête. Le troisième type, le plus fin, décrit les caractéristiques des lignes individuelles, telles leur épaisseur, leur convexité, leurs irrégularités... Il précise en outre les emplacements des pores sudoripares.

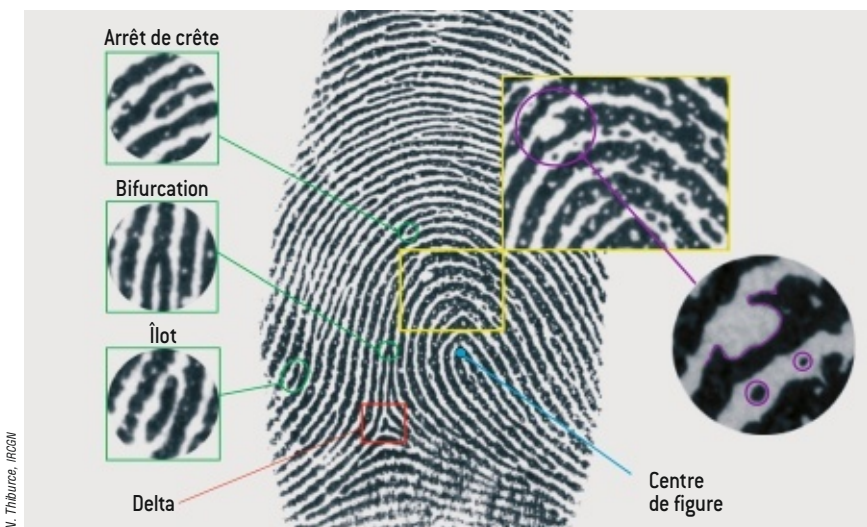
La comparaison des détails du premier type entre deux séries d'empreintes digitales suffit pour affirmer qu'elles ne correspondent pas ; elle n'est toutefois pas assez spécifique pour une identification, que seuls les détails des deux autres types autorisent.

Dans notre cas, la couche épidermique de la peau n'était plus présente sur les doigts – elle s'était détachée depuis que le bras avait été extrait de la glace –, et le derme sous-jacent était presque lisse. T. Robinson a alors tenté de restituer sa souplesse à la peau en la plaçant dans un bain réhydratant, une méthode nommée « restauration des empreintes digitales » et employée notamment pour l'identification des victimes de l'ouragan Katrina en 2005.

Faire réapparaître les empreintes

Les résultats ont été plus que satisfaisants : les détails des crêtes sont réapparus lentement sur les cinq doigts. Après avoir photographié les résultats, T. Robinson a exécuté des moules des empreintes en utilisant deux types de silicone. Il a ensuite retiré la pulpe des doigts (la partie charnue sous la peau) et a replongé chaque doigt séparément dans la solution : le détail des empreintes s'est encore amélioré. De nouvelles photographies retouchées grâce à un logiciel spécialisé ont livré des empreintes si nettes que même les pores sudoripares étaient visibles.

Paradoxalement, la grande qualité des photographies posait problème. Comme l'explique T. Robinson : « Un grand nombre [d'empreintes des fiches] étaient trop encrées, tachées et mal faites. Les empreintes digitales qui venaient d'être obtenues étaient meilleures que celles des fiches, dont la qualité médiocre rendait l'identification impossible. » T. Robinson a pourtant pu exclure dix victimes en déterminant que chacune avait au moins un doigt de la main gauche qui ne présentait pas de trace, tandis que les cinq doigts de la main trouvée sur le site de la catastrophe



2. UNE EMPREINTE DIGITALE se distingue d'une autre par trois types de caractéristiques. Les détails de type 1 correspondent à la direction générale des crêtes (*ici une boucle orientée vers la droite*), à la position du centre (*en bleu*), à des motifs remarquables, tel le delta (*en rouge*)... Les détails de type 2 (*en vert*), ou minuties, sont des particularités tels des arrêts de crêtes, des bifurcations, des îlots... Enfin, les détails de type 3 (*en violet*) concernent la forme des bords de crête, leur épaisseur, leurs irrégularités...

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/pubmed/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/Tatiana Makotra