

## ÉDITO



## Ne jamais baisser la garde

L'Institut Pasteur s'est pleinement engagé dans la crise de la Covid-19, et nos chercheurs n'ont jamais cessé de maintenir leur vigilance, permettant des interventions salvatrices notamment contre l'émergence de la variole du singe en 2022. Pour espérer contenir un foyer épidémique à ses débuts, il faut en effet réagir extrêmement vite. L'Institut Pasteur est le seul institut au monde capable à la fois d'envoyer des équipes pour contrôler les épidémies, et de mettre en route rapidement un ensemble de recherches fondamentales et appliquées. Répondre à l'urgence est primordial, mais cette urgence ne doit pas pour autant éclipser la lutte contre les autres fléaux de notre temps. La tuberculose paie ainsi le tribut de la pandémie de Covid-19 : le nombre de cas est pour la première fois en hausse depuis 20 ans. Comme vous le découvrirez dans ces pages, nos équipes sont pleinement impliquées dans un vaste programme européen pour le développement de nouveaux traitements contre cette maladie. Les grandes épidémies sont un sujet qui nous concerne tous, avec des conséquences sanitaires bien sûr, mais aussi politiques, économiques, sociales. Pour mieux les surveiller, les anticiper et y répondre, votre soutien est essentiel. Merci d'être fidèle à nos côtés.

**Pr Stewart Cole,**

Directeur général de l'Institut Pasteur

## LE DOSSIER



## Comment s'arrêtent les pandémies ?

« Le fléau n'est pas à la mesure de l'homme, on se dit donc que le fléau est irréal, c'est un mauvais rêve qui va passer. Mais il ne passe pas toujours et, de mauvais rêve en mauvais rêve, ce sont les hommes qui passent. » écrivait Albert Camus dans *La Peste*. Alors que le virus SARS-CoV-2 continue de circuler à travers le monde, notre rapport à la maladie évolue. Le terme de « pandémie », qui nous a accompagné au quotidien durant près de 3 ans, semble perdre de sa pertinence pour décrire l'impact de la Covid-19 sur nos vies. Si ce mauvais rêve a vraiment une fin, les sciences peuvent nous aider à l'appréhender et à la rendre possible.

SUITE P. 2



P. 08

ACTUALITÉS

Le chikungunya se transmet à des températures tempérées



P. 09

QUESTION SCIENCE

Peut-on guérir du VIH ?



P. 10

INTERNATIONAL

L'amibe *Naegleria fowleri*, un parasite passe-partout



Le Directeur général de l'OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus au cours d'une conférence de presse.

• • •

Lorsque, le 30 janvier 2020, l'Organisation mondiale de la santé déclare une « Urgence de santé publique de portée internationale » (USPPI) concernant la Covid-19, la maladie n'est pas encore qualifiée de pandémie. Mais lorsque l'USPPI prend fin, le 5 mai 2023, le directeur général de l'OMS souligne la nécessité de « passer à une gestion au long terme de la pandémie ». Que faut-il comprendre de ces déclarations ? Qu'une pandémie, si elle peut se définir comme la propagation mondiale d'une nouvelle maladie, représente bien plus qu'une situation épidémiologique inquiétante. La « pandémie » est un symbole, un signal aux gouvernements, à la communauté scientifique et aux populations qu'une menace pèse sur nos sociétés, et pas seulement sur certains individus.

Les pandémies sont des jalons dans l'Histoire de l'humanité, dont l'impact sociétal peut durer des siècles, voire des millénaires.

### Endémies, épidémies, pandémies... une histoire sans fin ?

Face à la complexité du vivant, sa diversité et son adaptabilité, mettre des bornes temporelles autour de la circulation d'un pathogène n'est pas chose aisée. Presque tous les agents infectieux – virus, bactéries, parasites... – auxquels l'humain a été exposé sont encore présents aujourd'hui. L'éradication d'un micro-organisme reste un fait rare : la variole, qui faisait encore des millions de cas annuels dans les années 60, est la seule maladie humaine à avoir été entièrement éradiquée, en 1980, après un programme mondial comprenant notamment la vaccination massive des populations. Son élimination a été possible parce que l'Homme était l'unique réservoir du virus. De nombreux facteurs comme le nombre important de réservoirs animaux (peste), la forte proportion de cas asymptomatiques (tuberculose), ou encore la variabilité génétique d'un virus (grippe) rendent impossible la disparition totale d'autres pathogènes. En revanche, l'élimination de la maladie, c'est-à-dire le maintien du nombre de cas en-dessous du seuil épidémique, reste envisageable. Les maladies deviennent alors endémiques : elles perdurent dans une région ou dans une population particulière, conservant un potentiel épidémique voire pandémique favorisé par les crises sanitaires causées par les guerres, les catastrophes naturelles ou... l'apparition d'autres pathogènes (VIH, SARS-CoV-2). L'endémie est l'aboutissement le plus courant d'une pandémie et pour caractériser cette transition qui peut s'apparenter à une fin, l'épidémiologie est précieuse : elle permet de comprendre la dynamique des épidémies et pandémies.



## Contre la tuberculose, l'Europe accélère

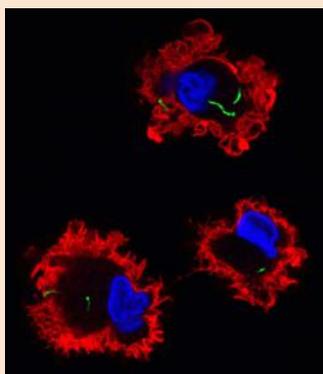


Face à *Mycobacterium tuberculosis*, nous disposons d'armes efficaces, mais pas suffisantes pour éradiquer le bacille. « *Le traitement standard contre la tuberculose a plus de 60 ans, tandis que le vaccin BCG en a plus de 100 et peine à prévenir la tuberculose pulmonaire chez l'adulte, forme la plus contagieuse de la maladie.* » rappelle **Roland Brosch**, responsable de l'unité de Pathogénomique mycobactérienne intégrée. « *Avec mon unité, nous*

*travaillons sur une version améliorée du BCG, et nous nous intéressons aussi au génome de M. tuberculosis et des souches proches, pour retracer leur évolution et ainsi identifier les facteurs qui ont contribué à leur dimension pandémique.* »

L'étude de *M. tuberculosis* est néanmoins complexe, elle nécessite un environnement de haute sécurité P3 et les colonies n'apparaissent qu'après trois semaines de culture. Pour accélérer ces recherches, l'Europe a lancé le programme ERA4TB\* auquel participent plusieurs unités de l'Institut Pasteur, dont celle de Roland. « *La tuberculose est trop souvent perçue comme une maladie du passé, pourtant elle tue encore près de 4000 personnes chaque jour dans le monde, et reste présente même en France dans certaines populations précaires.* »

Si les programmes de l'OMS ont réduit la mortalité de moitié en 20 ans, un quart de la population mondiale est encore infectée par le bacille de la tuberculose. Cette circulation entraîne une résurgence de l'épidémie dès que la surveillance se relâche, comme lors de la Covid-19 ou de la guerre en Ukraine. « *Au niveau mondial, les enjeux de la lutte contre la tuberculose sont multiples : freiner l'émergence de souches multi ou ultra-résistantes aux traitements, qui nous renvoient 100 ans en arrière ; réduire la durée du traitement ; et enfin prédire grâce à des marqueurs sanguins la transition d'une infection simple vers une forme pulmonaire grave de maladie, la plus contagieuse.* »



Le bacille de la tuberculose (en vert) entre dans des cellules immunitaires (en rouge).

\* European Regimen Accelerator for Tuberculosis.

### Définir le retour à la normale

Un des pères fondateurs de l'épidémiologie est le britannique John Graunt. Après avoir étudié le registre d'état civil durant l'épidémie de peste qui tua près de 20 % de la population londonienne en 1666, il conclut qu'une épidémie ne s'arrêtait pas lorsque la maladie disparaissait, mais lorsque le niveau de mortalité revenait aux temps normaux. Cette notion, aujourd'hui appelée surcroît de mortalité, est devenue un élément essentiel des données épidémiologiques, et de la communication autour d'une crise sanitaire. Elle est d'autant plus importante que la mortalité

Bactéries *Yersinia pestis*, responsables de la peste. Sans traitement antibiotique rapide, la maladie peut être mortelle en quelques jours.



ACTION PASTEUR

# La peste disparaîtra-t-elle un jour ?



*Yersinia pestis* accompagne l'humanité depuis ses premiers âges, occasionnant des pandémies parmi les plus meurtrières de l'Histoire. Pourtant seuls 50 000 cas ont été recensés dans le monde depuis 1990.

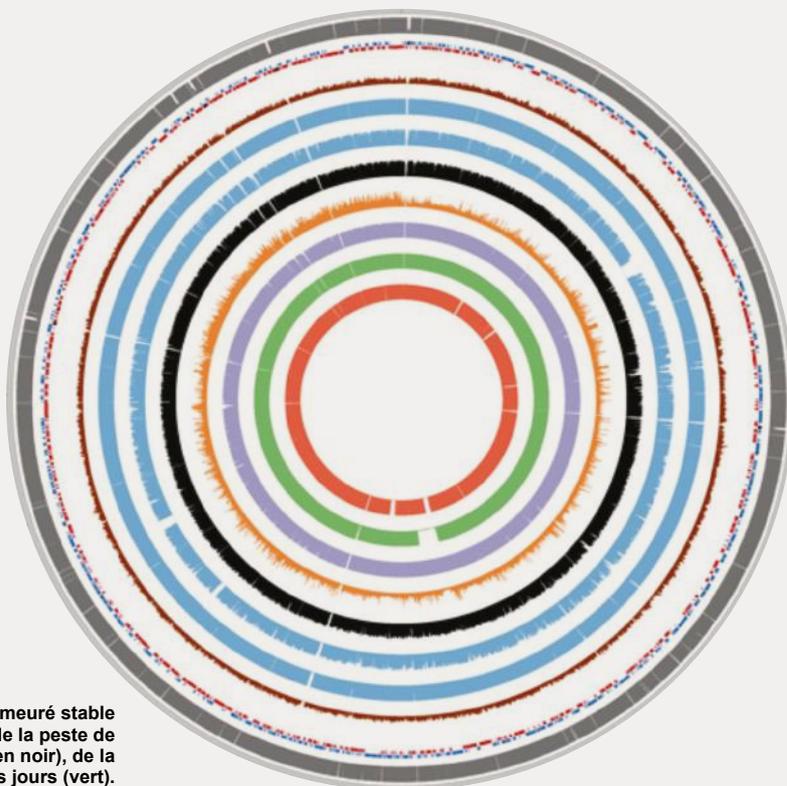
« Hors il n'existe pas d'immunité naturelle contre la peste, ni de vaccin vraiment efficace. » souligne **Nicolas Rascovan**, responsable de l'unité Paléogénomique microbienne. Pour comprendre ce déclin, il étudie les génomes bactériens du passé.

« Grâce à des restes archéologiques et plus de 1600 souches isolées par l'Institut Pasteur depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, nous avons retracé l'évolution de la bactérie depuis le néolithique. » Le génome de *Y. pestis* est plutôt stable, mais sa taille et le nombre de gènes fonctionnels semblent diminuer avec une certaine régularité. « Un phénomène courant chez les bactéries pathogènes » explique Nicolas. « À force d'infecter les mêmes hôtes et de se développer grâce à leurs ressources, une partie des gènes devient moins essentielle, et tend à disparaître. » La lèpre a par exemple perdu la moitié de ce génome dit « accessoire » au fil des millions d'années, devenant strictement dépendante de ses hôtes, dont l'humain. Néanmoins, le génome de *Y. pestis* a globalement peu varié depuis son émergence comme espèce il y a environ

50 000 ans, et aucun déterminant pouvant indiquer une pathogénicité accrue n'a été trouvé dans les souches pandémiques.

« Ces données suggèrent que d'autres facteurs, tels que la culture et le contexte historique, jouent un rôle crucial dans le ralentissement des épidémies, plus que la biologie du pathogène et de l'hôte. »

L'amélioration de l'hygiène et l'utilisation d'antibiotiques peuvent ainsi expliquer le déclin de la peste, mais pour Nicolas, elles ne suffiront pas à garantir sa disparition. « La capacité de *Y. pestis* à se transmettre entre animaux et de l'animal à l'humain rend impossible son éradication totale sans éliminer tous les animaux porteurs, ce qui est impraticable. »

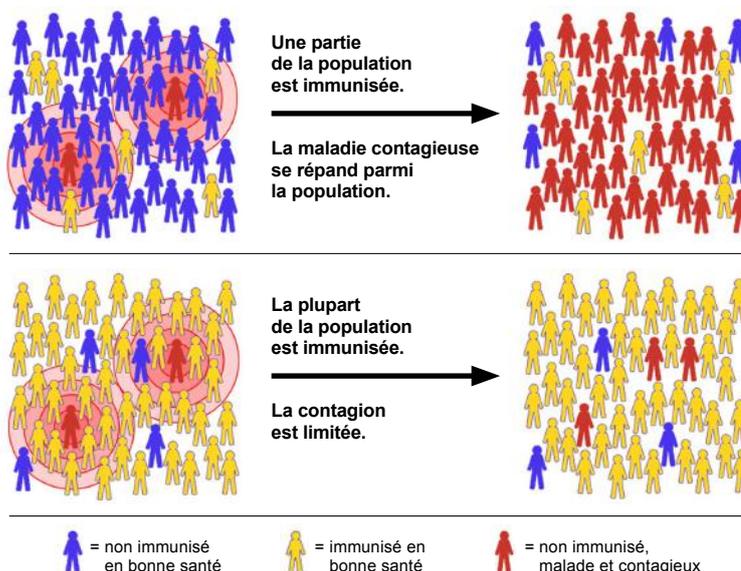


Chromosome principal de *Yersinia pestis*, demeuré stable au cours du Néolithique (marron et bleu clair), de la peste de Justinien (orange), de la peste du Tian Shan (en noir), de la peste noire (violet) jusqu'à nos jours (vert).

est un marqueur médical et social, fortement dépendante du contexte qui entoure une épidémie : la mortalité « normale » est variable selon les lieux, les époques et les maladies. En 1920, la population française se désintéressait déjà de la grippe espagnole apparue en 1918, bien qu'elle ait fait près de 200 000 victimes en France et reste à ce jour la pandémie la plus meurtrière de l'Histoire avec 20 à 50 millions de morts dans le monde.

## Atteindre l'immunité collective

Le cas de la grippe espagnole offre un aperçu de l'évolution des pandémies dans le cas d'une intervention humaine limitée,



SUITE P. 4



Visualisation en 3D des mutations de la Spike du variant Omicron.



## Le SARS-CoV-2 s'adapte-t-il à notre immunité ?

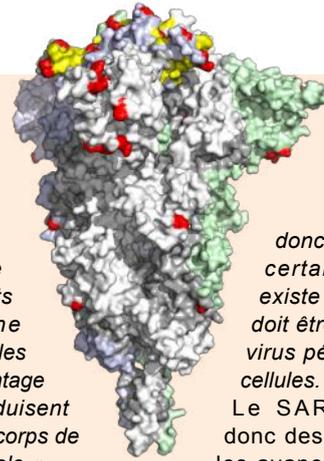


De nombreux variants du virus ont émergé au cours de la pandémie de Covid-19, certains plus inquiétants que d'autres. **Etienne Simon-Lorière**, responsable du groupe Génomique évolutive

des virus à ARN, étudie ces variants pour anticiper leur apparition et y répondre. « Tous les pathogènes accumulent des mutations au cours du temps » explique le chercheur, « mais la diversité et la quantité d'hôtes que le SARS-CoV-2 infecte agit comme un accélérateur d'apparition et de sélection de ces mutations. » En effet, pour un virus, les clés du succès épidémiologique changent au cours du temps : l'immunité des populations varie avec la

propagation de la maladie et la vaccination. « Au début de la pandémie les changements semblaient associés à une transmission plus rapide, mais les variants plus récents ont davantage acquis des mutations qui réduisent leur neutralisation par les anticorps de l'immunité naturelle ou vaccinale. »

Ces évolutions rapides ont contribué à un emballement médiatique autour de la notion d'« échappement immunitaire », mais la réalité n'est pas aussi simple : « Il s'agit plus d'un ajustement à l'hôte que d'un réel échappement. Nous avons ainsi identifié des mutations – acquises au hasard – qui changent la configuration de la protéine de surface du SARS-CoV-2 et



donc sa reconnaissance par certains anticorps, mais il existe un équilibre délicat qui doit être maintenu pour que le virus pénètre efficacement les cellules. »

Le SARS-CoV-2 présente donc des défis nouveaux, mais les avancées techniques et les connaissances accumulées permettent aux chercheurs d'identifier rapidement les caractéristiques d'un nouveau variant. « Bien que certaines évolutions du virus restent imprévisibles, ces recherches permettent d'établir une cartographie de l'avenir du virus, et de réagir rapidement en identifiant les traitements qui restent adaptés. »



l'hygiène et le confinement étant à l'époque les seules armes contre la maladie. La notion d'immunité collective est centrale dans ce paradigme. Elle dépend du taux de reproduction du pathogène, le fameux  $R_0$  que nous avons appris à connaître au cours de la pandémie de Covid-19. Ce  $R_0$  permet de quantifier la vitesse de propagation d'un pathogène, et ainsi d'estimer la proportion de personnes infectées. Ces données permettront aux scientifiques de calculer le pourcentage de personnes immunisées au-delà duquel l'immunité collective sera atteinte. Pour la grippe espagnole, avec un  $R_0=1,8$ , cette proportion atteignit les 40% de la population mondiale, ce qui correspond aux estimations historiques du nombre total de contaminations en 1920. L'immunité collective peut-être atteinte par l'infection naturelle, mais aussi par la vaccination. Pour le SARS-CoV-2, dont le  $R_0$  est compris entre 3 et 6 selon les variants, 70 à 90% de la population devait être vaccinée pour atteindre cette immunité.

### Ne pas sous-estimer la plasticité du génome

Outre le  $R_0$ , un autre facteur est à prendre en considération pour déterminer s'il est possible d'atteindre une forme d'immunité collective : l'évolution génétique. Comme tout génome, celui d'un pathogène évolue au fil du temps

SUITE P. 6



## Les pandémies contaminent aussi les mémoires



Épidémies et pandémies impactent le rapport des sociétés humaines au monde et aux sciences. « Comprendre cette relation est nécessaire à la réussite des politiques de santé publique. » soutient **Tamara Giles-Vernick**, responsable de l'unité Anthropologie et écologie de l'émergence des maladies. Pour les anthropologues et les historiens, il existe une forme de mémoire collective des épidémies, qui persiste dans les comportements et les institutions, parfois de manière inconsciente et délétère pour les groupes les plus vulnérables. « 40 ans après une épidémie de maladie du sommeil en Afrique, la population touchée se percevait et était encore perçue comme des "morts-vivants". » raconte Tamara.

Au cours de campagnes de vaccination contre l'hépatite B en Afrique\*, elle a rencontré des situations très différentes. « Au Burkina Faso par exemple, les "tradipraticiens" utilisent des tests diagnostiques modernes pour vendre leurs remèdes. » Les frontières entre médecine, pratiques traditionnelles et croyances sont parfois floues, chaque pays ayant ses particularités. « Avoir un personnel formé à ces accompagnements spécifiques est nécessaire pour éviter l'exclusion durable de certains groupes. »

Le traumatisme de la Covid-19 a montré que l'Europe n'était pas étrangère à ces enjeux, notamment à travers l'hésitation vaccinale, sur laquelle travaille Tamara aujourd'hui : « Nous menons une analyse sur plus de 7 000 participants européens pour évaluer leur perception des scientifiques pendant la pandémie. » Au cœur de celle-ci, la chercheuse a également coordonné une étude\*\* des facteurs de la vulnérabilité sociale et sanitaire, permettant par ses recommandations la prise en charge de populations précaires.



Étude socio-culturelle sur l'hépatite B et sa vaccination : séance de vaccination contre l'hépatite B au Burkina Faso, septembre 2010.

\* Projet Neovac coordonné par l'Institut Pasteur.

\*\* Projet Sonar-Global de la Commission européenne.



## L'ENTRETIEN

## Philippe Sansonetti

Professeur à l'Institut Pasteur et au Collège de France

## « Le retour à la normale des marqueurs d'une pandémie nous rassure, mais ils ne sont pas synonymes de disparition du virus responsable. »

### Peut-on parler d'arrêt de la pandémie de Covid-19 ?

Avec pour référence les dernières années que nous avons vécues, oui. Sur la base de la définition la plus classique d'une pandémie, en particulier la propagation planétaire explosive d'un nouvel agent pathogène et son impact social, économique et sanitaire, on peut dire que la pandémie est derrière nous. La vaccination précoce y a joué un rôle important, motivant la décision de l'OMS, mais l'arrêt de l'alerte ne signifie pas nécessairement la fin de la pandémie au sens de problématique mondiale, comme le montrent la grippe et la tuberculose. La transition pandémie-épidémie est actée pour la Covid-19. Il faut maintenant sortir du modèle de crise pour opérer un recueil des données épidémiologiques plus ciblées et qualitatives, permettant une politique de prévention claire et adaptée, en particulier vaccinale. La situation demeure par ailleurs hétérogène, voire énigmatique, notamment en Chine et sur le continent africain où la couverture vaccinale reste faible. Si l'on s'en réfère à l'histoire des pandémies et aux caractéristiques du SARS-CoV-2, nous sommes donc loin d'être débarrassés de ce virus.

### Que nous apprennent les pandémies du passé ?

Qu'une pandémie est une tragédie en trois actes. D'abord l'identification et l'attente inquiète, souvent l'incrédulité en décalage avec les premières interventions de la communauté médico-scientifique. Ensuite l'emballement épidémique, la réalisation de l'impact sanitaire et socio-économique

massif. La pandémie devient tangible, induisant des réactions individuelles et collectives puissantes, parfois antagonistes, mais la population se familiarise avec la crise : on « domestique » la pandémie. Enfin vient la régression, le contrôle, mais aussi la lassitude du corps social qui va largement contribuer à la sortie de crise : on a appris à « vivre avec le virus ». C'est souvent la sociologie qui ferme la parenthèse pandémique, comme ce fut le cas avec la grippe espagnole.

### La grippe est-elle un modèle pertinent pour la Covid-19 ?

Rien n'est jamais totalement comparable, mais oui, si l'on se réfère à ce que nous venons de dire, en particulier pour mieux comprendre la transition entre pandémie et endémie, en cours dans la majorité du monde pour la Covid-19. Le SARS-CoV-2 circule toujours autour du seuil épidémique, avec un potentiel de génération de variants échappant plus ou moins à l'immunité naturelle ou vaccinale. C'est sur cette base que s'est mise en place la grippe saisonnière, certains variants étant

suffisamment différents pour relancer une pandémie. Le SARS-CoV-2 présente même une plus forte capacité de mutations et de recombinaison avec d'autres coronavirus animaux. Risquons-nous de voir une rythmicité pandémique supérieure à la grippe avec les coronavirus ? L'avenir le dira, mais en l'absence de possibilité d'éradiquer le SARS-CoV-2, le « modèle grippe » semble plus que prédictif.

### Comment se préparer à cette endémisation ?

D'abord en étant transparent, en alertant et communiquant sur la nature du danger, donc en ne bâclant pas le troisième acte de la pandémie. La tentation est grande, en effet, de tout oublier et de passer à autre chose, mais c'est prendre un risque énorme. Il ne faut pas baisser la garde : mettre en place une surveillance active sur les populations à risque comme les « super-propagateurs » et les hôtes animaux ; maintenir une vaccination régulière avec des vaccins « immunologiquement réactualisés », ce que permet d'ailleurs facilement la vaccination ARNm ; enfin continuer le développement de médicaments pour traiter en urgence les plus fragiles si l'immunité de groupe établie fléchissait.

Ceci nécessite de donner aux scientifiques, comme ceux de l'Institut Pasteur, les moyens de se mobiliser rapidement et dans la durée. La Covid-19 a entraîné un vrai changement de paradigme dans notre manière de répondre à une émergence pandémique, il faut maintenant pérenniser cette adaptation et faire évoluer le modèle de santé publique hérité du XX<sup>e</sup> siècle à l'aune des tensions qu'il subit au XXI<sup>e</sup> siècle.

“

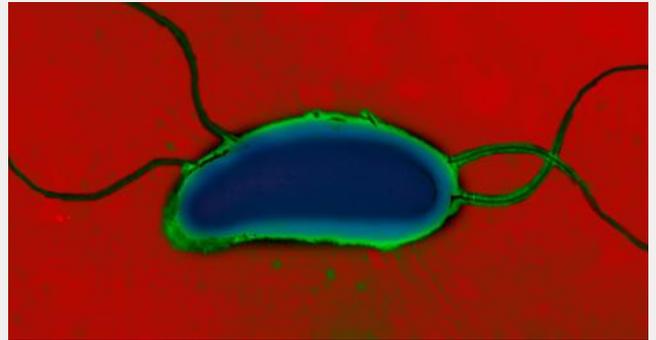
La tentation est grande de tout oublier et de passer à autre chose, mais c'est prendre un risque énorme.”

# Choléra : les pandémies se suivent... et se ressemblent ?



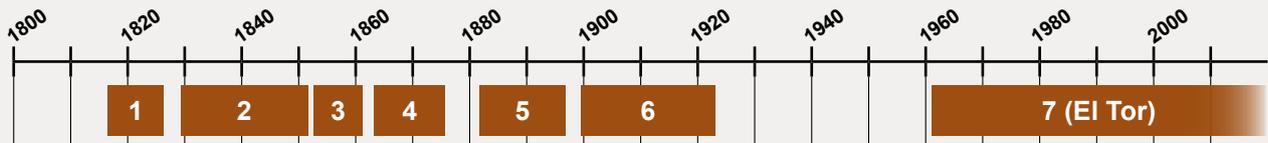
Depuis le 19<sup>e</sup> siècle, 6 pandémies de choléra ont, à partir du sous-continent indien, traversé la planète en causant des millions de morts avant de s'éteindre d'elles-mêmes. Aujourd'hui, l'histoire semble se répéter. « La 7<sup>e</sup> pandémie de choléra a démarré au début des années 60, et ferait encore près de 100 000 victimes par an. » indique **François-Xavier Weill**, res-

ponsable de l'unité des Bactéries pathogènes entériques. « Outre sa durée, elle est particulière car la souche pandémique est différente des précédentes. » Le vibron responsable de la 7<sup>e</sup> pandémie, baptisé El Tor, est ainsi plus résistant que les précédents et cause davantage de formes asymptomatiques, ce qui favorise sa dispersion. L'utilisation des sels de réhydratation et à un moindre degré des antibiotiques a toutefois permis de réduire grandement la mortalité associée. « À cette approche vient également de se rajouter l'utilisation de vaccins oraux. » rassure François-Xavier. « Mais le plus efficace reste de casser la chaîne de transmission de la bactérie, qui se propage d'homme à homme notamment via l'eau contaminée, en améliorant sur le long terme le niveau d'hygiène, l'accès à l'eau potable et les systèmes d'assainissement. » En attendant, la surveillance et la réactivité restent les meilleurs outils de défense face aux flambées épidémiques. « Grâce au



**Vibrio cholerae** – la toxine produite par cette bactérie est responsable de symptômes digestifs pouvant conduire à une mort rapide par déshydratation sévère : le choléra.

séquençage génomique, nous avons différencié précisément le vibron El Tor des vibrions classiques et d'autres non dangereux présents dans l'environnement, reconstituant ainsi l'histoire évolutive du choléra depuis 1961. En étroite collaboration avec l'OMS, cette expertise nous permet de confirmer les résultats de laboratoires du monde entier, et d'identifier si les souches sont réellement dangereuses pour réagir le plus efficacement possible. »



Pandémies de choléra. Avant El Tor, les vibrions sont dit « classiques ».

**Les pandémies d'hier sont les endémies d'aujourd'hui à l'image de la peste, toujours présente en Afrique, ou de la grippe saisonnière. Le schéma semble se répéter lors de chaque rencontre entre l'humanité et un nouvel agent pathogène.**

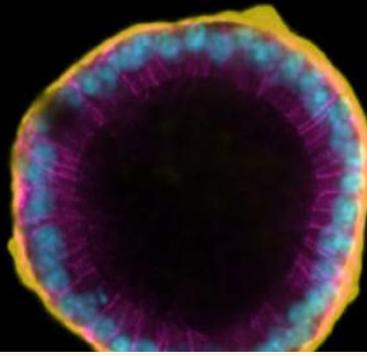
...

avec l'apparition de mutations aléatoires, le réarrangement ou l'acquisition de nouveaux gènes issus de souches proches. Les virus à ARN comme la grippe ou le SARS-CoV-2 sont particulièrement concernés par ces processus, du fait de la simplicité et de la plasticité de leur génome. Face à l'endémisation de la grippe et à sa rythmicité saisonnière, les scientifiques ont ainsi développé la notion de « glissement antigénique » : selon un rythme régulier, les molécules présentes à la surface d'un virus se modifient légèrement, mais suffisamment pour que l'immunité naturelle ou vaccinale acquise devienne insuffisante. S'il est possible d'anticiper ces changements, la survenue de modifications plus importantes du génome est imprévisible, et peut entraîner de nouvelles épidémies, voire des pandémies, comme ce fut le cas avec le virus de la grippe humaine dont le génome se recombine régulièrement avec ceux des souches animales du virus, ou plus récemment le virus du chikungunya, qui a montré des signes d'adaptation à un nouveau moustique, facilitant sa propagation.

## Anticiper, surveiller, répondre

Les pandémies sont autant des faits sociaux que médicaux : l'historien, l'épidémiologiste, le sociologue, le biologiste ou encore le médecin auront donc chacun une vision différente de ce qui pourrait constituer leur fin. Ainsi, certains fléaux du passé ne semblent vivre que dans notre mémoire collective bien que le danger ne soit pas écarté : les pandémies d'hier sont les endémies d'aujourd'hui à l'image de la peste, toujours présente en Afrique, ou de la grippe saisonnière. Le schéma semble se répéter lors de chaque rencontre entre l'humanité et un nouvel agent pathogène : les pandémies d'aujourd'hui deviendront les endémies de demain, telles celles dues au VIH ou au SARS-CoV-2. Face aux pathogènes ancestraux comme aux émergences futures, la surveillance et la recherche sont les meilleurs atouts à notre disposition pour répondre aux pandémies, voire les éviter ou même contribuer à leur fin...

DOSSIER RÉALISÉ PAR LA RÉDACTION



Organoïdes de glandes utérines en culture, visualisées en immunofluorescence.

# Camille Berthelot, exploratrice sans tabou

**Règles douloureuses, menstruations, endométriose, errance médicale... Pour s'emparer de ces sujets, la cheffe du groupe Génomique fonctionnelle comparative de l'Institut Pasteur repousse les frontières de la connaissance. Avec son équipe, elle travaille actuellement à trouver un marqueur biologique qui permettrait de dépister précocement et facilement l'endométriose, maladie très invalidante qui reste mal connue. Mais pour cette chercheuse spécialisée dans l'étude comparative des génomes des espèces, de tels travaux s'inscrivent dans une démarche plus large d'exploration du vivant.**

## **Pionnière dans la recherche de marqueurs de l'endométriose**

L'engagement de Camille dans la recherche sur l'endométriose est né au détour d'une conversation avec une amie souffrant de cette maladie chronique dont les différentes formes touchent une femme sur dix. La prise de conscience est immédiate, et la littérature scientifique sur laquelle Camille se penche révèle de nombreuses lacunes. La première d'entre elles est l'absence de dépistage pour prévenir l'endométriose. Ainsi, le diagnostic prend en moyenne 7 ans, et l'errance médicale des patientes n'est pas toujours prise au sérieux. Il y a beaucoup à faire, d'un point de vue médical comme sociétal, et la chercheuse se lance un défi : trouver un moyen de dépister la maladie de manière précoce, rapide et non invasive, accessible à toutes.

À partir d'échantillons de flux menstruels issus d'une petite cohorte de femmes volontaires, Camille et son équipe vont analyser au niveau génétique les tissus utérins, et ainsi chercher des différences entre les



Manipulations au laboratoire.

volontaires saines ou atteintes d'endométriose. Leur objectif est de caractériser les populations cellulaires présentes dans les pertes menstruelles, en repérant des ARN messagers, chargés de transmettre l'information génétique nécessaire au fonctionnement des cellules. C'est là une première étape vers l'identification de marqueurs qui permettrait le développement d'un test simple et fiable pour dépister l'endométriose.

## **Au cœur d'une énigme évolutive**

Comment, et pourquoi sont apparues les menstruations ? En cherchant des réponses à ces questions, Camille et son équipe espèrent comprendre quels mécanismes cellulaires sont apparus au cours de l'évolution, et leurs conséquences sur le fonctionnement de l'utérus. Les menstruations sont en effet spécifiques aux primates, apparues il y a environ 30 millions d'années au cours de leur évolution. Pour Camille,

malgré le coût énergétique élevé associé à la perte régulière de tissus et de sang, les menstruations ont évolué en raison de la complexité des interactions entre l'utérus maternel et l'embryon en développement, qui s'adaptent l'un à l'autre, accélérant le processus évolutif.

## **Une quête de connaissances pour la santé de toutes**

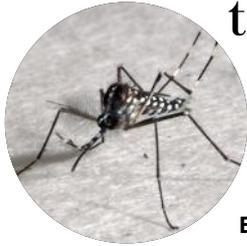
Comprendre en profondeur les menstruations est essentiel pour appréhender l'endométriose. L'étude de cette maladie comporte plusieurs obstacles pour Camille, de la variabilité des symptômes à l'errance médicale des patientes qui tardent à être diagnostiquées. Par ses recherches multidisciplinaires, combinant génomique, biologie de l'évolution et biologie de la reproduction, Camille explore le vivant mais offre également l'espoir d'améliorer la santé et la qualité de vie des femmes à travers le monde.

## L'endométriose, qu'est-ce que c'est ?

Pouvant apparaître dès les premières règles et durer jusqu'à la ménopause, l'endométriose se caractérise par le développement de tissus semblables à la muqueuse utérine en dehors de l'utérus. Elle peut entraîner une douleur aiguë dans le bassin, particulièrement au moment des règles, et des difficultés à tomber enceinte.

MALADIES VECTORIELLES

# Le chikungunya se transmet à des températures tempérées



*Aedes albopictus.*

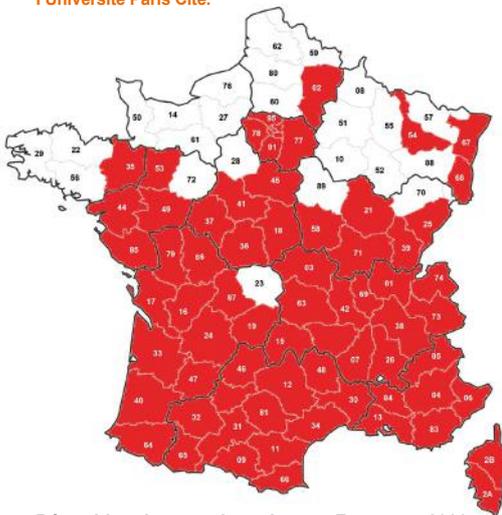
**V**ecteur du chikungunya et de la dengue, le moustique tigre *Aedes albopictus* a été signalé pour la première fois en Europe en 1979, et les premiers cas autochtones de chikungunya dans le sud de

la France ont été observés en 2010. Pour évaluer le risque d'une expansion du virus dans les régions à climat tempéré, des scientifiques\* se sont intéressés à l'impact de la température sur *Aedes albopictus*.

Ils ont ainsi montré que le microbiome (flore intestinale) et l'expression des gènes du moustique étaient différents entre 20 °C et 28 °C, une température élevée favorisant l'infection du tube digestif du moustique par le virus du chikungunya. Mais la température agit également sur le génome de ce dernier, modifiant sa diversité génétique pour induire des transformations menant à une transmission plus efficace.

Au final, le moustique *Aedes albopictus* est capable de transmettre le chikungunya avec la même efficacité à 20 °C et à 28 °C tout en mettant en jeu des processus moléculaires très distincts. Il s'agit d'un véritable exemple d'ajustement mutuel entre le virus et le vecteur en réponse à son environnement.

\* Étude dirigée par Anna-Bella Failloux, du laboratoire Arbovirus et insectes vecteurs de l'Institut Pasteur avec l'Université Paris Cité.



Répartition du moustique tigre en France en 2022 (ministère de la Santé et de la Prévention).



SARS-COV-2

# L'histoire des populations influence leur réponse immunitaire

**P**endant la pandémie de Covid-19, le virus SARS-CoV-2 a été responsable de symptômes variés, allant de l'absence de manifestation jusqu'à la mort. Si l'âge avancé, le sexe masculin et les comorbidités restent les facteurs de risques principaux de l'infection, des chercheurs\* se sont aussi intéressés aux facteurs génétiques à l'origine de cette diversité des réponses immunitaires parmi les populations d'Afrique centrale, d'Europe de l'Ouest et d'Asie de l'Est.

Ils ont identifié plus de 900 gènes dont l'expression en réponse au SARS-CoV-2 différait entre les populations, principalement à cause de la composition cellulaire du sang, influencée par des facteurs environnementaux tels que l'exposition au cytomégalovirus qui infecte 99 % de la population d'Afrique centrale contre 32 % des Européens.

Mais un autre facteur pourrait avoir influencé la diversité des réponses immunitaires au SARS-CoV-2 : l'évolution humaine. En effet, les scientifiques ont identifié environ 1200 autres gènes influençant la réponse immunitaire au virus, qui semblent avoir été façonnés par des événements de sélection et des mélanges passés. Par exemple, des infections à coronavirus il y a 25000 ans en Asie du Sud-Est, ou encore les croisements entre les Néandertaliens et les humains modernes.

En identifiant les impacts biologiques des variants génétiques associés à la gravité de la Covid-19, cette étude fournit des indices pour des stratégies de médecine de précision qui permettraient soit d'identifier les individus à risque, soit de mettre au point de nouveaux traitements.

\* Étude menée par Lluís Quintana-Murci, responsable de l'unité de Génétique évolutive humaine à l'Institut Pasteur, avec des chercheurs du CNRS, du Collège de France, de l'Institut Imagine, de l'université de Gand (Belgique), de l'université de Rome (Italie), de l'université de Détroit (USA), de l'université Rockefeller (USA), du C2I de Hong Kong (Chine), et de l'université de Melbourne (Australie).

ANTIBIORÉSISTANCE

# Les révélations d'un modèle mondial



**L**a résistance aux antibiotiques constitue aujourd'hui l'une des plus graves menaces pesant sur la santé mondiale, causant plus d'un million de morts par an. Ce phénomène est naturel, mais le mauvais usage des antibiotiques l'intensifie en sélectionnant les résistances. Afin de mieux comprendre les facteurs qui y contribuent au niveau mondial, des scientifiques\* ont développé un modèle statistique à partir des données de 51 pays sur 14 ans.

Leurs résultats révèlent que la consommation nationale d'antibiotiques n'est pas, à l'échelle mondiale, directement liée à la résistance chez la plupart des espèces de bactéries testées, suggérant que les mesures de contrôle de l'antibiorésistance doivent s'adapter au contexte local. En revanche, la bonne qualité du système de santé d'un pays est associée à des niveaux d'antibiorésistance plus faibles. Des températures élevées sont à l'inverse associées à des forts niveaux d'antibiorésistance pour les bactéries du tube digestif.

Cette étude met en évidence la diversité des déterminants conduisant à l'antibiorésistance de différentes bactéries pathogènes au niveau mondial. Ceux-ci sont plus complexes qu'anticipés, et varient selon les régions et les combinaisons bactéries-antibiotiques. Une meilleure connaissance de cette dynamique permettra d'envisager des interventions de santé publique plus ciblées et plus efficaces.

\* Étude réalisée à l'Institut Pasteur par Eve Rahbé, codirigée par Lulla Opatowski du laboratoire Épidémiologie et modélisation de la résistance aux antimicrobiens (Inserm / Université Versailles St-Quentin), et Philippe Glaser, responsable de l'unité Écologie et évolution de la résistance aux antibiotiques.



SANTÉ

## Les tiques en France : un danger à surveiller ?

**P**articulièrement actives à l'automne et au printemps en France, les tiques se trouvent dans divers habitats essentiellement ruraux. Elles se nourrissent du sang des animaux ou des humains sur lesquels elles se fixent.

Il existe près de 900 espèces de tiques dans le monde, et seules quelques-unes sont vectrices d'agents pathogènes. Celles-ci représentent néanmoins les premiers vecteurs menaçant la santé humaine comme animale dans l'hémisphère nord, et les vecteurs qui transmettent la plus grande variété d'agents pathogènes (bactéries, virus et parasites) au monde. Par exemple, en France :



Une tique *Ixodes ricinus* femelle dans la nature, vecteur des agents de la maladie de Lyme et de l'encéphalite à tiques.

BACTÉRIE	VIRUS	PARASITE
Maladie de Lyme	Encéphalite à tiques	Piroplasmose canine
47 000 cas/an (humains)	71 cas/an (humains)	150 000 cas/an (chiens)

En France, la principale maladie humaine liée aux tiques est la maladie de Lyme. Quelques jours après la piqûre de tique, en cas d'infection, un érythème migrant (halo rouge caractéristique sur la peau) apparaît dans la majorité des cas autour du point de piqûre, et s'étend de façon circulaire. À ce stade, un traitement antibiotique permet d'enrayer la maladie. En l'absence de traitement, la maladie peut provoquer des atteintes cutanées, musculaires, neurologiques et articulaires pouvant être très invalidantes.

La prévention joue un rôle crucial dans la réduction des risques associés aux tiques : porter des vêtements protecteurs, utiliser des répulsifs, inspecter régulièrement son corps. La sensibilisation aux habitats des tiques, à leur cycle de vie et aux mesures de précaution à prendre lors d'activités en plein air est essentielle pour minimiser les risques pour la santé. En suivant des pratiques préventives simples, il est possible de profiter en toute sécurité des plaisirs de la nature.

FOCUS

## Peut-on guérir du VIH ?

Depuis son identification dans les années 1980, le VIH a eu un impact dévastateur sur la santé mondiale. Pour les 38,4 millions de personnes infectées, le traitement antirétroviral reste actuellement la meilleure solution malgré ses nombreuses contraintes, permettant de contrôler durablement le virus. Pourtant, plusieurs guérisons complètes ont été signalées depuis 20 ans.

Ainsi le « patient de Berlin » a pu guérir en 2009 de l'infection par le VIH suite à une greffe de moelle osseuse issue d'une personne porteuse d'un gène de résistance au virus, dans le cadre d'un traitement contre une leucémie. D'autres cas similaires ont été recensés depuis, mais cette approche complexe et risquée n'est pas applicable à grande échelle.

Plusieurs pistes de recherche ont néanmoins été ouvertes par l'étude des mécanismes de défense chez de rares individus porteurs du VIH appelés « contrôleurs ». Si le VIH s'attaque aux cellules immunitaires, celles des

contrôleurs sont capables de maintenir durablement la charge virale au plus bas sans traitement antirétroviral. Ils sont en quelque sorte naturellement immunisés contre le VIH, et les particularités de leurs réponses immunitaires pourraient être transmises à des personnes non-contrôleuses. Par exemple, des thérapies cellulaires pourraient reprogrammer les cellules des personnes non-contrôleuses, ou des immunothérapies pourraient utiliser des anticorps dits « à large spectre », pour obtenir des réponses similaires à celles des contrôleurs.

Accumulation de particules de VIH à la surface d'une cellule infectée suite à l'action d'anticorps.



### Rémission et guérison, quelle est la différence ?

La guérison correspond à l'éradication totale du virus de l'organisme. La rémission de l'infection décrit une situation où le virus peut persister dans l'organisme en l'absence de traitement antirétroviral, mais sans se multiplier. Il reste indétectable dans le sang. Dans certains cas la rémission est durable et le virus ne réapparaît plus, mais dans d'autres cas la rémission est transitoire et le virus peut resurgir à partir de certains réservoirs comme les ganglions lymphatiques.



GUADELOUPE

## L'amibe *Naegleria fowleri*, un parasite passe-partout

Capables de mener une vie autonome dans le sol et l'eau douce des lacs comme des piscines, les amibes libres du genre *Naegleria* comptent 47 espèces dont une pathogène pour l'humain, connue sous le nom d'« amibe mangeuse de cerveau ». Nommée *Naegleria fowleri*, ce parasite peut pénétrer dans le corps humain par le nez *via* de l'eau contaminée puis se déplacer vers le cerveau, provoquant une infection rare mais mortelle dans 95% des cas appelée méningo-encéphalite amibienne primitive.

Afin de comprendre comment l'amibe *Naegleria fowleri* peut s'adapter à une grande diversité de milieux, des scientifiques\* se sont intéressés à l'évolution de l'ensemble du genre *Naegleria*, séquençant pour la première fois son génome dans sa quasi-intégralité. Ils ont ainsi pu obtenir un « pangénome », un catalogue complet de près de 3500 gènes essentiels, impliqués dans les processus de survie, et d'environ 10000 gènes dispensables. La présence de ces derniers varie selon les espèces, et pourrait expliquer les différences en termes de résistance à la température et de capacités infectieuses.

Les analyses de l'architecture génomique ont alors révélé des différences entre les espèces *Naegleria*, notamment des phénomènes de trisomie particulièrement délétères chez les autres micro-organismes. *Naegleria fowleri* semble profiter de caractéristiques de plasticité génétique et de sa grande diversité de gènes dispensables pour moduler son comportement selon les environnements, y compris le cerveau humain. Les gènes qui lui sont propres, ainsi que la manière dont ils s'organisent, ouvrent ainsi de nouvelles perspectives pour appréhender ces micro-organismes fascinants.

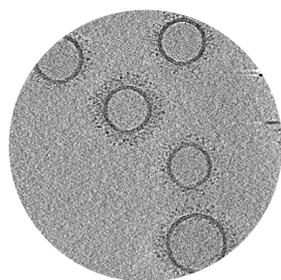
\* Chercheurs de l'Institut Pasteur de la Guadeloupe (Unité TRed-Path), en collaboration avec les équipes d'Institut Pasteur-Paris (Biomics), de l'Institut scientifique de santé publique à Bruxelles, et des Centres pour le contrôle et la prévention des maladies à Atlanta.

### UNITÉ INTERNATIONALE PASTEUR

## Décrypter les communications des champignons microscopiques

En collaboration avec la Fondation FioCruz – Oswaldo Cruz (Brésil) et l'Université de Birmingham (Royaume-Uni), l'Institut Pasteur a annoncé la création de l'unité internationale Pasteur « Vésicules extracellulaires fongiques »\*.

Ces « VE » sont des particules naturellement produites par toutes les cellules à partir d'excroissances de leur membrane. Ne contenant pas de noyau fonctionnel, elles sont incapables de se répliquer mais jouent un rôle crucial dans la communication intercellulaire. On les retrouve sous des formes et dans des environnements très variés, cette diversité rendant leur étude difficile. Chez les champignons microscopiques, les VE sont le support majeur des échanges entre individus, mais aussi avec l'hôte et l'environnement. Pendant au moins 5 ans, la nouvelle unité mettra en synergie les efforts de trois équipes expertes



Vésicules extracellulaires de *Cryptococcus neoformans* observées au microscope électronique.

pour comprendre la diversité, les voies de biosynthèse et les rôles de ces organites extracellulaires au cours de l'infection, avec des applications potentielles dans le domaine du diagnostic de ces infections, de la résistance aux agents antifongiques et de la vaccinologie.

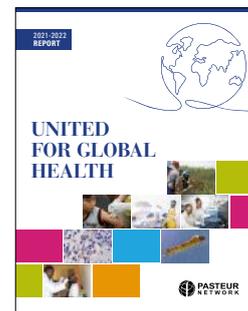
Les unités mixtes de recherche internationales permettent de renforcer le partenariat entre l'Institut Pasteur et les autres membres du réseau. Elles sont créées conjointement avec deux ou plusieurs équipes de recherche, travaillant ensemble au sein du Pasteur Network. Leurs principaux objectifs sont de mettre en commun des compétences et des expertises complémentaires pour développer des programmes de recherche innovants, et d'obtenir des financements nationaux ou internationaux pour ces nouvelles collaborations.

\* Coordonnée par Guilhem Janbon, chef de l'unité Biologie des ARN pathogènes fongiques à l'Institut Pasteur à Paris, Marcio L. Rodrigues, chef du groupe Pathogènes fongiques à l'Institut Carlos Chagas, FioCruz, Brésil et Robin C. May professeur à l'Institut de microbiologie et d'infection et de l'école de biosciences, Université de Birmingham, Royaume-Uni.

### RÉSEAU

## Découvrez le nouveau rapport du Pasteur Network

Le rapport 2021-2022 du Pasteur Network vient d'être publié, alors que s'ouvre un nouveau chapitre pour cette vaste communauté humaine et scientifique après la mise en place d'une nouvelle gouvernance.



Anciennement nommé « Réseau International des Instituts Pasteur », le Pasteur Network compte aujourd'hui plus de 30 membres répartis dans une vingtaine de pays à travers le monde.

Ce rapport offre une vue d'ensemble complète des activités des membres du réseau au cours des deux dernières années. Divisé en quatre chapitres, il met en lumière les réalisations remarquables de chaque région du Pasteur Network : Afrique, Amériques, Asie-Pacifique et Euro-Méditerranée.

Le Pasteur Network se distingue par son accès privilégié à une multitude de pathogènes présents sur les cinq continents. Implanté au cœur de zones endémiques, le réseau joue un rôle essentiel dans la surveillance et l'étude de ces agents pathogènes. Cette diversité exceptionnelle en fait un acteur mondial dans les domaines de la santé publique, de la science, de l'innovation et de la formation. Plus particulièrement, le réseau se positionne en tant qu'acteur majeur dans la lutte contre les maladies infectieuses.



Scannez ce QR code ou rendez-vous sur [pasteur-network.org/fr/ressources/rapports/](https://pasteur-network.org/fr/ressources/rapports/)



## PUBLICATIONS

# L'Institut Pasteur, sentinelle des maladies infectieuses

**D**ans son rapport annuel 2022, l'Institut Pasteur met à l'honneur l'implication de ses équipes dans les activités de santé publique, plus particulièrement ses 13 Centres nationaux de référence, laboratoires experts œuvrant sous l'égide de Santé publique France.

L'année 2022 a en effet été marquée par deux situations pandémiques, la Covid-19 et la variole du singe, permettant aux chercheurs de démontrer leur engagement dans la lutte contre les maladies infectieuses émergentes. Plus de 450 publications scientifiques sur la Covid-19 étaient dénombrées fin 2022 concernant la modélisation de la dynamique épidémique, l'identification des lieux de transmission, l'analyse de la réponse immunitaire ou l'étude de la relation hôte-virus. Par ailleurs, les équipes du campus se sont mobilisées dès l'émergence des premiers cas humains de variole du singe en mai 2022, la Cellule d'Intervention Biologique d'Urgence (CIBU) étant une des rares entités en France habilitée à pratiquer l'isolement et le séquençage du virus responsable. Plusieurs équipes travaillent à la mise au point de tests diagnostiques réalisables au lit du malade ainsi qu'à l'élaboration de tests sérologiques permettant des enquêtes épidémiologiques en population.



Découvrez le rapport annuel, mais aussi le rapport financier et le résumé des comptes de l'Institut Pasteur en 2022 sur [www.pasteur.fr/fr/nous-soutenir#publications](http://www.pasteur.fr/fr/nous-soutenir#publications)

Outre les maladies infectieuses émergentes, Le rapport annuel revient également sur les avancées des grands axes de recherches de l'Institut Pasteur : cancers, maladies neurodégénératives, résistance aux antibiotiques, ainsi que vaccinologie et immunothérapies.



## INAUGURATION

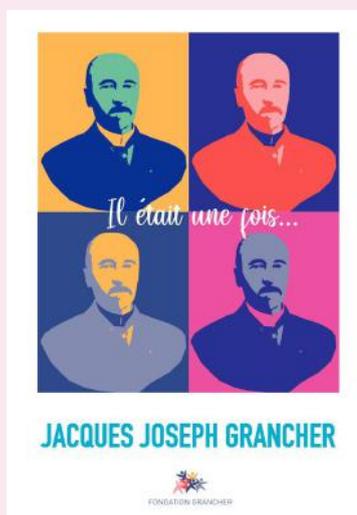
# Un nouveau bâtiment pour la recherche sur l'audition

**L**e Centre de Recherche en Audiologie Humaine (CeRIAH) a été inauguré le 10 octobre, au sein du campus de l'Institut Pasteur. Cette plateforme d'exploration fonctionnelle du système auditif abritera le volet clinique des recherches de l'Institut de l'Audition, centre de l'Institut Pasteur.

Ainsi, le CeRIAH élabore et met en œuvre des protocoles de recherche impliquant des participants humains, en utilisant des tests audiologiques et neurologiques comportant des risques et contraintes minimales. Dans ce cadre, les équipes du CeRIAH accueillent des volontaires, développent et fabriquent des instruments de mesure et de diagnostic, ainsi que des prototypes d'appareils auditifs. Le centre forme également les praticiens aux techniques de l'audiologie, tout en maintenant un dialogue constant avec les professionnels de terrain tels que les praticiens et les industriels.

## HOMMAGE

# Cérémonie d'hommage à Jacques Joseph Grancher



**À** l'occasion de ses 120 ans, la Fondation Grancher a tenu à célébrer son fondateur, le docteur Jacques Joseph Grancher, au parcours exemplaire dans le champ de la protection de l'enfant.

Précurseur dans le domaine de la prévention de la tuberculose infantile, il s'est également positionné en faveur de l'usage de l'isolement et de l'antisepsie dans la bataille contre cette affection. En 1885, il collabore aux côtés de Louis Pasteur et du Pr Alfred Vulpian pour réaliser la première vaccination contre la rage sur le jeune Joseph Meister, attaqué par un chien enragé.

L'ambition de la Fondation Grancher est de rester fidèle aux deux principes de son fondateur, gravés sur son mausolée au cimetière de Montmartre : « Il sauva les enfants par la science et par l'amour ».

# PASTEURDON 2023

## La recherche vit grâce à vous

**V**ous avez été très nombreux à manifester votre soutien à nos chercheurs lors de la 17<sup>e</sup> édition du Pasteurdon, du 4 au 8 octobre dernier. Par votre geste vous faites vivre la recherche, et l'Institut Pasteur vous remercie donc très chaleureusement pour votre engagement.

Aux côtés d'Erik Orsenna, ambassadeur de l'Institut Pasteur, les animateurs et journalistes des 50 partenaires médias TV et radio se sont mobilisés durant 5 jours pour sensibiliser le public à l'importance des travaux de nos 1 600 chercheurs. Les thématiques des maladies neurodégénératives, des cancers, des maladies infectieuses émergentes et du microbiote ont notamment été abordées, mais les recherches menées à l'Institut Pasteur vont bien au-delà. Notre première mission est la compréhension du vivant sous toutes ses formes, dans le but de faire progresser la vie. La recherche est notre mission première et vit en chacun de nos chercheuses et chercheurs. Votre soutien représente un immense encouragement pour nos scientifiques.



### Ils et elles ont couru pour l'Institut Pasteur

Deux groupes de 50 pasteuriennes et pasteurs ont porté un dossard aux couleurs du Pasteurdon lors des 20 km de Paris et de La Parisienne. Une belle façon d'afficher leur engagement pour l'Institut Pasteur et leur volonté de faire connaître son besoin de dons, tout au long de magnifiques parcours.



### Les conférences du Pasteurdon à voir ou à revoir

À l'occasion du Pasteurdon, vous avez peut-être pu assister à notre conférence le 7 octobre dernier, et si ce n'est pas le cas, vous pouvez désormais la visionner en replay.



Aux côtés du youtubeur Julien Menielle, Gérard Eberl vous présente ses recherches sur le microbiote et son rôle essentiel pour notre système immunitaire.

Il vous explique en détail comment l'équilibre entre le microbiote intestinal, l'immunité et même le cerveau

influence divers aspects de notre santé, de la prévention des maladies neurodégénératives à la compréhension des mécanismes de l'auto-immunité.

Ne ratez pas cette occasion de découvrir les avancées scientifiques les plus récentes et visionnez cette conférence sur le site [pasteurdon.fr](http://pasteurdon.fr).

### BULLETIN D'ABONNEMENT et/ou DE SOUTIEN

Merci de bien vouloir nous le retourner à : Institut Pasteur – 25 rue du Docteur Roux – 75015 Paris

Je fais un don de :

30€  45€  60€  75€  100€  Autre montant.....€

Sur [www.pasteur.fr](http://www.pasteur.fr)

Par chèque bancaire libellé à l'ordre de l'Institut Pasteur

Je veux continuer à recevoir la Lettre de l'Institut Pasteur et je vous joins le montant de mon abonnement pour un an : soit 4 numéros au prix de 6 euros (non déductible).

Je souhaite recevoir en toute confidentialité et sans engagement, une documentation sur les possibilités de legs, donation et assurance-vie au bénéfice de l'Institut Pasteur.

Les données personnelles recueillies sur ce formulaire sont destinées à l'Institut Pasteur et à ses prestataires sous-traitants, à des fins de traitement de votre don, de votre abonnement à la Lettre de l'Institut Pasteur, d'émission de votre reçu fiscal, d'appel à votre générosité, d'envoi d'informations sur l'Institut Pasteur. Elles sont conservées pendant la durée strictement nécessaire à la réalisation des finalités précitées. Conformément à la Loi Informatique et Libertés, vous pouvez vous opposer à leur utilisation et disposez d'un droit d'accès pour leur rectification, limitation, portabilité ou effacement. Pour cela, contactez notre service Relations Donateurs – Institut Pasteur, au 25 rue du Docteur Roux 75015 Paris ou à [dons@pasteur.fr](mailto:dons@pasteur.fr). Vous pouvez par ailleurs contacter notre délégué à la protection des données personnelles par e-mail à [dpo@pasteur.fr](mailto:dpo@pasteur.fr), ou à l'adresse : Délégué à la protection des données, Institut Pasteur, Direction juridique, 28 rue du Docteur Roux 75724 Paris Cedex 15. En cas de difficulté, vous pouvez également introduire une réclamation auprès de la CNIL. Vos coordonnées peuvent être communiquées à d'autres organismes faisant appel à la générosité du public, sauf avis contraire de votre part en cochant la case ci-contre  ou être envoyées hors Union Européenne pour production de courriers, sauf avis contraire de votre part en cochant la case ci-contre .



#### MES COORDONNÉES

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

La lettre de l'Institut Pasteur



Lettre trimestrielle éditée par l'Institut Pasteur

Directeur de la publication : Stewart Cole • Directeurs de la rédaction : Antoine Bogaerts, Frédérique Chegaray • Rédacteur en chef : Arthur Amiel. • Ont participé à la rédaction de ce numéro : Sarah Bonnet, Anne Bulet-Parendel, Aurélien Coustillaud, Lucas Grécourt, Juliette Hardy, Alice Henry-Tessier, Corinne Jamma, Hugo Mouquet, Aurélie Perthuisson, Myriam Rebeyrotte, Asier Saez-Cirion • Direction artistique, réalisation : BRIEF • Crédit photos : Institut Pasteur, Sarah Bonnet Institut Pasteur/Etienne Simon-Lorière, Institut Pasteur/Olivier Schwartz et Félix Rey, Institut Pasteur/Ludovic Tailleux, Institut Pasteur/Tamara Giles-Vernick, Institut Pasteur/François Gardy, Valerie Zeitoun, Institut Pasteur/Marie-Christine Prevost - Anne Derbise, Adobe stock, iStock, jaq architectes - Aldo Amoretti, D.R. • Impression : Imprimerie Bulls Market Group • N° de commission paritaire : 0127 H 88711 • ISSN : 1243-8863 • Abonnement : 6 euros pour 4 numéros par an • Contact : Institut Pasteur – 25, rue du Docteur Roux 75015 Paris – Tél. 01 40 61 33 33

Cette lettre a été imprimée sur du papier et selon des procédés de fabrication respectueux de l'environnement.

