

ÉDITO



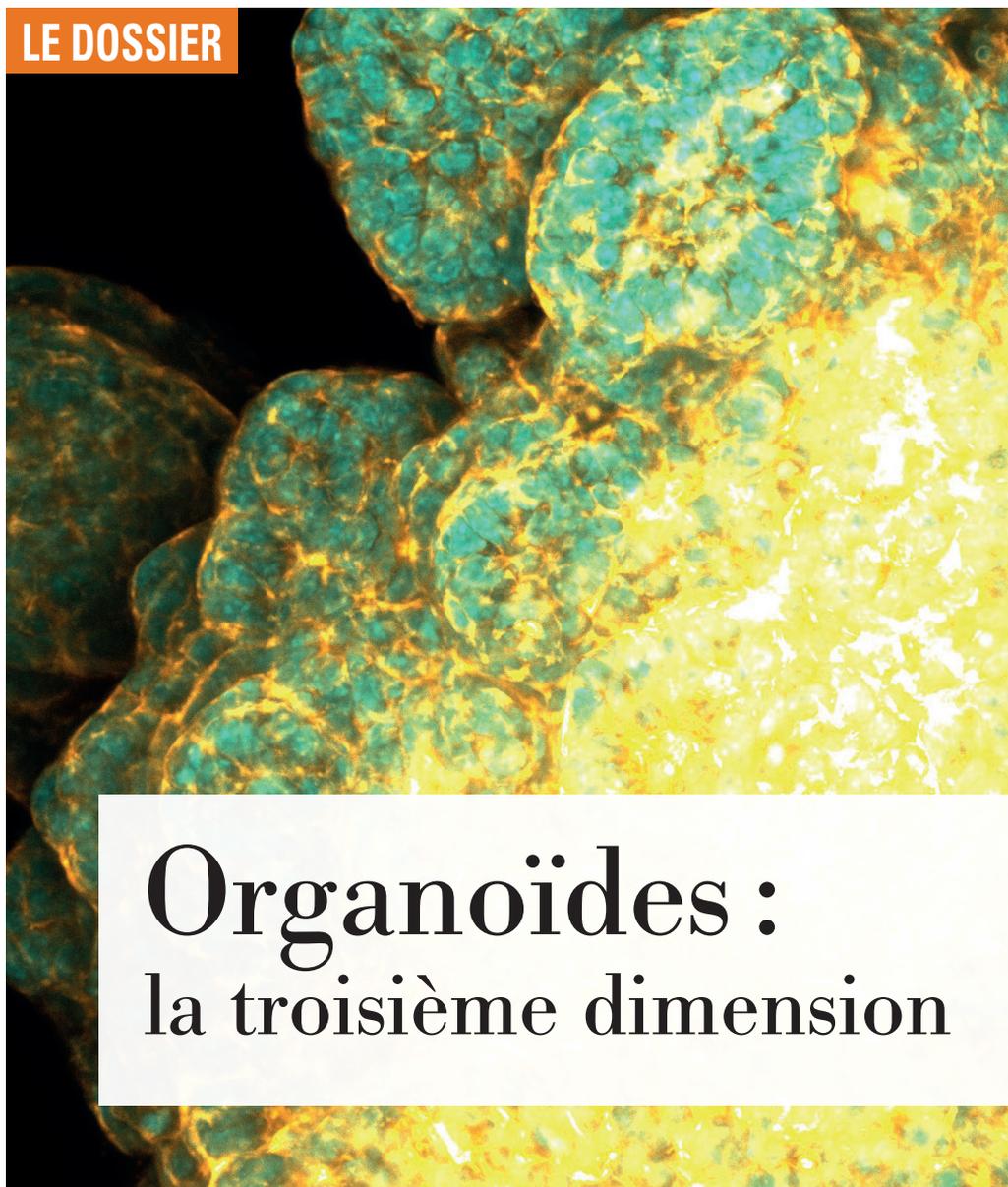
D'incomparables outils

Toute recherche biomédicale passe par le choix d'outils adaptés pour avancer dans la compréhension du vivant. Pour étudier les tissus humains, les chercheurs travaillent souvent sur des cellules en culture. Beaucoup développent aujourd'hui des structures cellulaires en trois dimensions pour reproduire en partie tel ou tel organe (cœur, rein, cerveau, poumon...) : on les nomme « organoïdes ». Grâce à eux, le champ des possibles s'élargit considérablement, qu'il s'agisse de mieux comprendre une maladie, d'étudier leurs interactions avec le microbiote ou de tester des candidats médicaments. Comme vous le découvrirez dans ces pages, les chercheurs peuvent élaborer des organoïdes à partir de cellules de patients, pour étudier une maladie de peau, des pathologies inflammatoires chroniques de l'intestin, le vieillissement du cerveau, la maladie de Parkinson, une infection ou encore un cancer. Les organoïdes permettent d'aller incomparablement plus loin dans l'étude de l'organisme humain et des maladies qui le menacent. S'ils deviennent des outils inégalables dans de nombreux domaines de recherche, ils restent néanmoins onéreux. Nous avons besoin de vous pour aider nos chercheurs à accéder à cette technologie unique.

Pr Yasmine Belkaid,

Directrice générale de l'Institut Pasteur

LE DOSSIER



Organoïdes : la troisième dimension

Organoïde : ce drôle de nom peut évoquer pour certains un univers de science-fiction, ou tout du moins quelque chose de ... bizarroïde ! Il n'en est rien. Le suffixe -oïde, d'origine grecque, veut simplement dire : « ressemblant à ». Les organoïdes sont donc des structures « ressemblant à » des organes. Pour autant, ce ne sont pas à ce stade de véritables « mini-organes ». Mais ils s'en rapprochent et font l'objet aujourd'hui d'un véritable engouement de la part de nombreux scientifiques, devenant même des outils incontournables dans certains domaines de la recherche biomédicale.

SUITE P. 2



P. 08

ACTUALITÉS

Chiens et humains
ont-ils trouvé un
langage commun ?



P. 09

QUESTION SCIENCE

Les œufs peuvent-ils
causer la
salmonellose ?



P. 10

INTERNATIONAL

L'Institut Pasteur
positionne ses activités
« Une seule santé »

Culture d'organoïdes
cérébraux dans l'unité
Mécanismes moléculaires du
vieillessement pathologique
et physiologique (lire p. 6).

Les organoïdes sont de minuscules structures biologiques en trois dimensions, créées à partir de cellules souches, qui imitent certaines fonctions d'un organe.

Des modèles en 3D

Ces minuscules structures biologiques en trois dimensions, d'à peine quelques millimètres, sont fabriquées en laboratoire. Excellents modèles pour étudier les mécanismes du vivant et les maladies, les organoïdes miment le fonctionnement de nos organes. Un organoïde de thyroïde par exemple va produire, comme l'organe réel, de l'hormone thyroïdienne. Les organoïdes imitent donc certaines fonctions d'un organe, mais pas toutes. Ainsi, un organoïde de rein ne pourra pas reproduire la fonction de détoxification de cet organe, de même qu'un organoïde de poumon ne pourra mimer les échanges d'oxygène. Reste que ces modèles, à l'aspect de minuscules boules mises en culture, offrent des perspectives de découvertes inédites pour comprendre le fonctionnement normal de notre organisme et étudier les maladies qui l'abiment.

La recette des organoïdes

Afin de mieux comprendre ces modèles de plus en plus prisés par les chercheurs, arrêtons-nous sur leur fabrication : pour former un organoïde, on utilise des cellules « immatures » – des cellules souches – capables de se multiplier à l'infini (ou presque) et de donner naissance à des cellules spécialisées dotées de fonctions précises. Ces cellules souches sont cultivées *in vitro*, au laboratoire, dans des conditions qui vont les conduire à se spécialiser et à s'organiser dans l'espace comme le font les cellules de l'embryon ou des tissus adultes à même de s'auto-régénérer. Ce sont des facteurs de croissance propres à chaque type cellulaire (cœur, foie...) qui vont guider leur spécialisation, et c'est grâce à une matrice gélatineuse, qui sert « d'échafaudage moléculaire », que les cellules vont donner des versions simplifiées en 3D de la plupart de nos organes : foie, intestin, poumon, rein, cœur, rétine, cerveau...



Infections, maladies inflammatoires de l'intestin, étude du microbiote

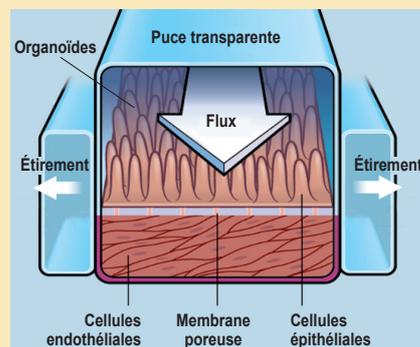
Organoïdes-sur-puce : un modèle très élaboré



Sur la Plateforme Biomatériaux et microfluidique de l'Institut Pasteur, le groupe de **Nathalie Sauvonnnet*** étudie l'intestin grâce à des organoïdes installés sur une « puce ».

« La puce est un matériel transparent long de 1 centimètre. » nous montre la chercheuse (voir schéma). « Dans cette puce il y a deux canaux : un en haut pour y placer nos organoïdes de colon humain, l'autre en bas qui reproduit un vaisseau sanguin. Cette puce permet aussi de recréer les stimulations mécaniques de l'intestin qui sont liées d'une part à l'écoulement de la nourriture créant un flux et d'autre part aux forces péristaltiques nécessaires au transit le long de l'intestin, recréées dans ce dispositif par l'étirement cyclique du tissu, toutes les 6 secondes. » Ce petit dispositif a permis de montrer que lors d'une infection par *Shigella* (cause d'une grave

maladie diarrhéique humaine), les forces mécaniques étaient nécessaires pour que la bactérie envahisse le colon et le détruise, avec 10 000 fois plus d'infection que dans un dispositif « statique ». Aujourd'hui, les recherches se focalisent sur le microbiote : « Le mimer est extrêmement complexe. Nous utilisons donc des métabolites produits par des bactéries du microbiote. » Parmi eux, les « acides gras à chaîne courte » ont un effet bénéfique sur l'intestin, la fonction digestive, et l'ensemble de l'organisme. Incubés sur des organoïdes-sur-puce infectés par le SARS-CoV-2, ils réduisent l'infection mais aussi l'inflammation. « Avec des gastro-entérologues de l'hôpital Saint-Antoine à Paris, nous développons des organoïdes inflammés sur puce, pour mimer les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin. Nous testons certaines molécules du microbiote, pour voir si elles réduisent ou augmentent l'inflammation. »



Organoïdes-sur-puce. Cette puce présente deux canaux : celui du haut contient des organoïdes d'intestin; celui du bas va mimer un vaisseau sanguin. Les forces mécaniques de l'intestin sont reproduites par des zones d'étirement. Un tel dispositif permet d'étudier l'effet des métabolites du microbiote ou celui d'une infection.

* Homéostasie des tissus.

Organoïdes cérébraux

Comprendre la « maladie des petits vaisseaux »



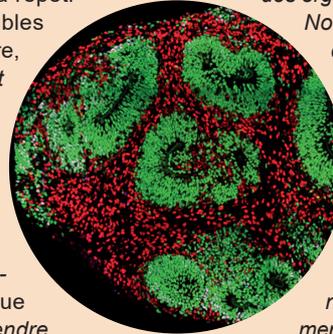
Melina Thetiot, chercheuse dans l'unité Neurogénétique du poisson zébré à l'Institut Pasteur, produit des organoïdes cérébraux (voir image ci-contre) pour mimer des étapes précoces du développement du cerveau, notamment des structures du cortex. Son objectif ?

Comprendre le rôle de la « voie de signalisation Notch », qui permet la communication entre les cellules. Cette question très fondamentale l'a amené à s'intéresser à une maladie précisément due à une mutation du gène Notch3 : le CADASIL*. Touchant au moins 1 personne sur 24 000, cette maladie altère les petits vaisseaux sanguins du cerveau, et

peut provoquer à l'âge adulte des crises de migraines, des troubles psychiques et surtout, pour 3 patients sur 4, des accidents vasculaires cérébraux (AVC) à répétition, entraînant des troubles du langage, de la mémoire, de la vision... « On sait que l'agrégation de la protéine Notch3 mutée dans les vaisseaux participe à cette pathologie mais on ne connaît pas l'impact des altérations de la voie de signalisation elle-même. » explique Melina. « Pour le comprendre,

nous produisons des organoïdes cérébraux avec des cellules souches induites (IPS) de patients porteurs de la mutation Notch3, et des organoïdes issus de patients sains.

Nous pouvons mimer le contexte développemental d'apparition de la maladie, et tenir compte des facteurs génétiques qui interviennent. Nos modèles sont une porte d'entrée pour identifier les atteintes qui pourraient se répercuter à l'âge adulte. Des recherches d'autant plus importantes qu'il n'existe aujourd'hui aucun traitement du CADASIL. »



*Acronyme signifiant « Cerebral Autosomal Dominant Arteriopathy with Subcortical Infarcts and Leukoencephalopathy », c'est-à-dire « artériopathie cérébrale autosomique dominante avec infarctus sous-corticaux et leucoencéphalopathie ».

• • •

Grâce à leur structure en trois dimensions, les organoïdes sont beaucoup plus proches de ce qui se passe dans notre organisme que les cellules en culture en deux dimensions, communément utilisées auparavant pour l'étude des cellules humaines. Les cellules se comportent en effet différemment si elles sont organisées en 2D ou en 3D. Les organoïdes permettent d'aller beaucoup plus loin dans l'analyse des processus biologiques impliqués dans les fonctions qu'on parvient à leur faire reproduire, et de leurs dérèglements pathologiques. Car s'ils ne sont jamais identiques à un organe, ils sont généralement ce qui s'en rapproche le plus.

Leur temps d'élaboration dépend de l'organe à mimer. On peut par exemple produire des organoïdes d'intestin (lire p.2) en une ou deux semaines : cela tient au fait que l'intestin se régénère naturellement très rapidement : en 3 jours à peine, l'intégralité de nos cellules intestinales est renouvelée. En revanche, il faut plusieurs mois pour développer des organoïdes de cerveau (lire p.3, 4, 6).

Des modèles d'étude des maladies

Si les organoïdes ont été conçus au départ pour étudier le développement et comprendre comment s'organisent les tissus, c'est bien dans l'étude des maladies et la recherche de médicaments qu'ils percent aujourd'hui : maladies infectieuses, cancers, maladies neuro-dégénératives (lire p.4), maladies chroniques de l'intestin... de très nombreuses pathologies sont désormais étudiées grâce à ces modèles.

SUITE P. 4

• • •

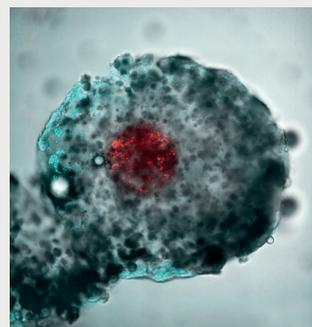
Tumeurs cérébrales

Des « assemblages » pour l'étude des glioblastomes



Causé par la prolifération anormale de cellules cérébrales nommées cellules gliales*, le glioblastome est le cancer du cerveau le plus fréquent et le plus agressif chez l'adulte. Il fait au moins 3 000 nouveaux cas par an et n'épargne pas les enfants. Chez eux, le glioblastome est le deuxième cancer en fréquence (après la leucémie) et le premier en terme de mortalité. D'où l'importance des recherches sur ce cancer aujourd'hui incurable. Celles

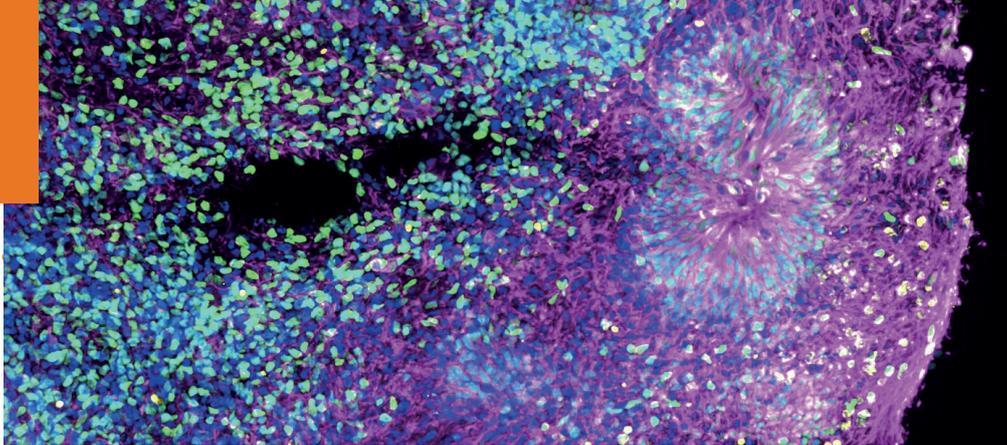
de **Sandrine Etienne-Manneville**, responsable de l'unité Polarité cellulaire, migration et cancer à l'Institut Pasteur, passent par l'utilisation de structures en 3D qui ne sont pas des organoïdes, mais qui facilitent grandement l'étude des cellules tumorales. « Nous élaborons des sphéroïdes et des assemblages. » commente la chercheuse. « Les premiers sont constitués de cellules tumorales qu'on fait pousser en sphère, d'où leur nom. Au laboratoire, on utilise des « gliomasphères » formées de cellules de glioblastomes. Elles sont utiles pour étudier les capacités d'invasion des cellules tumorales ou encore leur résistance à la compression ou à l'irradiation, et permettent de comparer les cellules de différents patients. On teste aussi sur ces modèles des molécules qui peuvent tuer les cellules ou les empêcher de migrer. » Une autre approche vise à enrober un sphéroïde de glioblastome avec des cellules gliales saines : c'est l'assemblage (voir photo), développé depuis peu par l'équipe de Sandrine. « On parvient à mimer en partie ce qui se passe dans un cerveau, pour étudier les interactions entre les cellules cancéreuses



et les cellules saines. Est-ce que les cellules saines peuvent tuer ou bloquer la prolifération ou l'invasion des cellules cancéreuses ? ». Les chercheurs vont pouvoir répondre à ces questions fondamentales avec ces modèles 3D *in vitro*. L'étude des glioblastomes est passée dans une autre dimension...

*Les cellules gliales, telles que les astrocytes, servent de support physique et nutritionnel aux neurones et participent à leur fonctionnement. Ce sont les progéniteurs des astrocytes qui sont à l'origine des glioblastomes.

Organoïdes cérébraux provenant de patients atteints de la maladie de Parkinson avec mutation de l'alpha-synucléine. Collaboration entre les équipes de Chiara Zurzolo (lire l'encadré ci-dessous) et Miria Ricchetti (lire p. 6).



Pour la mucoviscidose, des chercheurs hollandais ont fabriqué des organoïdes d'intestin issus de patients pour tester l'efficacité des médicaments sur chacun et adapter les thérapies en fonction.

• • •

D'autant qu'il est possible de créer des organoïdes issus de cellules de patients : soit en prélevant une partie de leurs tissus, à partir d'une biopsie par exemple, où des cellules souches adultes sont abondantes (ex : intestin) ; soit en prélevant des cellules de leur peau (des fibroblastes) qu'on sait depuis quelques années réorienter vers l'état de cellules souches « induites » ou IPS. Les chercheurs pourront ensuite comparer les organoïdes sains et les organoïdes issus de patients et obtenir ainsi des informations cruciales sur les mécanismes conduisant à la maladie étudiée, mais aussi tester des molécules d'intérêt thérapeutique.

À chacun son traitement

L'exemple de la mucoviscidose est souvent cité parmi les avancées réalisées grâce à des organoïdes. Cette maladie héréditaire grave touche les voies respiratoires et digestives et se traduit entre autres par une production excessive de mucus. Des mutations sur

un gène (CFTR) sont en cause, certaines fréquentes, d'autres plus rares. Si des médicaments existent pour réparer l'anomalie, ils ne sont pas efficaces chez tous les malades. Des chercheurs hollandais ont fabriqué des organoïdes d'intestin issus de patients pour tester l'efficacité des médicaments sur chacun et adapter les thérapies en fonction : une médecine personnalisée qui, bien qu'encore balbutiante, pourrait changer à l'avenir la vie des malades.

Ce type de médecine au cas par cas est aussi envisagée dans le cadre des cancers. À partir de cellules souches cancéreuses prélevées chez un patient, il est possible de faire des « tumoroides » : ils pourraient permettre à l'avenir de tester pour chaque malade la sensibilité de leur tumeur aux différents médicaments disponibles.

Néanmoins, la technologie des organoïdes reste très coûteuse, limitant aujourd'hui l'essor de telles applications.

SUITE P. 6

• • •



Cancers, maladies neurodégénératives

Des organoïdes cérébraux de patients accélèrent les recherches



L'équipe de **Chiara Zurzolo**, responsable de l'unité Trafic membranaire et pathogenèse à l'Institut Pasteur, développe des organoïdes à partir de cellules de patients pour étudier deux maladies très différentes, touchant

toutes deux le cerveau : le glioblastome, une grave tumeur cérébrale (lire aussi p.3) et la maladie de Parkinson. « Grâce à une collaboration avec l'Oncopole à Toulouse, nous produisons des organoïdes de glioblastomes à partir de cellules souches tumorales de patients. » explique Chiara Zurzolo.

« Nous les utilisons pour étudier la communication entre cellules cancéreuses et cellules saines, qui peut promouvoir la croissance tumorale et l'acquisition de résistance aux traitements, mais aussi pour identifier de nouvelles cibles thérapeutiques. »

L'équipe utilise en parallèle un modèle de la maladie de Parkinson, avec une production excessive d'alpha nucléine, une protéine dont l'agrégation anormale dans le cerveau est pathogène. Les organoïdes cérébraux sont élaborés à partir d'IPS* de patients. Ils servent à rechercher les mécanismes qui gouvernent la progression de la maladie, et à étudier la communication entre neurones

et cellules immunitaires du cerveau (astrocytes, microglie...). Celles-ci peuvent en effet devenir préjudiciables en cas d'inflammation, contribuant à la progression de maladies neurodégénératives. « Les organoïdes cérébraux humains, comparés aux modèles animaux, reproduisent beaucoup plus finement les caractéristiques des maladies humaines in vitro. C'est particulièrement important au vu des différences significatives entre cellules humaines et cellules de souris, notamment lors des réponses immunitaires impliquées à la fois dans les cancers et dans les maladies neurodégénératives. »

*Les IPS ou cellules souches pluripotentes induites sont obtenues à partir de cellules de peau des patients, des fibroblastes, qui au contact d'un cocktail de molécules « reviennent » à l'état de cellules souches.



L'ENTRETIEN

Barbara de Faria da Fonseca

Chercheuse sur la Plateforme technologique Biomatériaux et microfluidique de l'Institut Pasteur.

« On découvre beaucoup de choses avec les cultures de cellules classiques, mais il y a une limite. Avec les organoïdes, nous avons des modèles de plus en plus physiologiques. »

Quand la technologie des organoïdes est-elle née ?

Le terme d'organoïdes apparaît dans les publications scientifiques dès les années 90. Mais il ne correspondait pas du tout à ce que nous appelons organoïdes aujourd'hui. On sait depuis longtemps qu'on peut prendre des morceaux de tissus, d'organes, de biopsies, par exemple, et les cultiver *in vitro*, dans des milieux de culture adaptés. On parle de cultures « organotypiques ». Ce qu'on appelle organoïdes depuis les années 2005 / 2010, c'est la mise en culture de cellules en trois dimensions, qui vont reproduire les fonctions basiques d'un organe.

Depuis quand sont-ils un modèle prisé dans la recherche ?

Globalement, ces outils sont développés depuis une petite dizaine d'années dans un nombre croissant de laboratoires de recherche, bien que la culture des organoïdes soit plus difficile, plus longue et techniquement plus compliquée que celles de cellules en deux dimensions. Mais cela dépend du type d'organoïdes, et de la maladie sur laquelle on travaille : par exemple, lors de la pandémie de Covid-19, due à un virus respiratoire, l'utilisation d'organoïdes de poumon s'est énormément répandue et a permis de mieux comprendre l'infection par le SARS-CoV-2 et ses variants. Car si on découvre beaucoup de choses avec les cultures de cellules classiques, il y a une limite. Avec les organoïdes, nous avons des modèles de plus en plus physiologiques.

Vous travaillez particulièrement sur des organoïdes de poumon. Quel est l'objectif ?

Je travaille d'une part à améliorer le modèle, et d'autre part à étudier des maladies. Nous avons commencé avec le Covid, en collaboration avec l'équipe de Lisa Chakrabarti et d'autres à l'Institut Pasteur. Il y avait alors très peu de modèles pour étudier l'axe respiratoire, le nez, les bronches... C'est ainsi qu'a commencé le modèle poumon. Je collabore aussi avec des microbiologistes* très focalisés sur les bactéries qui colonisent le tractus respiratoire, notamment *Streptococcus pneumoniae* ; nous travaillons à reproduire l'infection sur des modèles plus élaborés, des « organoïdes-sur-puce », qui relèvent d'une autre technologie.

Pouvez-vous expliquer cette technologie ?

Ce qu'on appelle puce est un support en silicium de la taille d'une gomme. On crée des micro canaux dans cette puce, dans lesquels on va injecter des cellules. Par exemple, je veux étudier un tissu du poumon avec un capillaire sanguin qui passe juste à côté d'une cellule pulmonaire. Je peux mimer le capillaire en mettant dans un canal de ma puce des cellules du système sanguin, y compris immunitaires. Ensuite dans un autre canal je place des cellules de l'épithélium pulmonaire. Des pores permettent la communication entre les deux. Cette technologie, qui permet de faire des modèles très complexes, devient de plus en plus à la mode.

“

Lors de l'épidémie de Covid-2019, l'utilisation d'organoïdes de poumon s'est énormément répandue. »

Développez-vous d'autres organoïdes au sein de la plateforme ?

Oui, Nathalie Sauvonnet travaille sur des organoïdes d'intestin sur puce pour étudier le SARS-CoV-2, mais aussi l'infection par la bactérie *Shigella*, responsable d'une grave maladie diarrhéique, et le microbiote intestinal (lire p. 2). Nous développons depuis peu des organoïdes cérébraux, et nous débutons un projet d'organoïdes de placenta avec l'Institut Pasteur d'Uruguay et l'Institut Pasteur du Sénégal, pour étudier l'effet de différents pathogènes causant des maladies néonatales (paludisme, toxoplasmose...). Actuellement, sur la plateforme, nous cherchons à améliorer la technologie des organoïdes, mais nous envisageons une activité de service en vue de fournir des organoïdes à d'autres laboratoires, et nous réfléchissons à ce qui intéresserait le plus la communauté pasteurienne.

* Michael Connor dans l'équipe de Mélanie Hamon (unité Chromatine et infection) à l'Institut Pasteur.



Organoïdes d'épiderme

Comprendre une maladie de peau très invalidante



Des organoïdes de peau devraient permettre de mieux comprendre la maladie de Verneuil*, affection cutanée multifactorielle touchant 1% de la population française, caractérisée par des abcès récurrents et douloureux. « J'ai développé un premier modèle d'organoïde de peau humaine dans un laboratoire américain, pour étudier le psoriasis. » explique **Laure Guenin-Macé**,

de l'unité d'immunobiologie et thérapie. « De retour à l'Institut Pasteur depuis un an, je travaille à adapter et utiliser ce modèle pour l'étude de la maladie de Verneuil. » À partir de biopsies de peau, la chercheuse isole les kératinocytes de la couche basale – des cellules chargées du renouvellement naturel de la peau –, puis les met en culture avec des facteurs de croissance. Elle obtient ainsi une structure tridimensionnelle avec toutes les couches d'un épiderme

*ou hidradénite supprimée.

mature (voir image ci-dessus). « Je collabore avec un dermatologue de l'hôpital Saint-Louis à Paris, qui a des patients atteints de la maladie de Verneuil. Il peut faire des excisions de leurs lésions incluant un peu de peau non-lésionnelle sur laquelle je peux travailler. L'objectif est de faire des organoïdes contrôle à partir de peau saine, et d'autres à partir de peau de patients. » La chercheuse souhaite comprendre le rôle du microbiote cutané dans la maladie. « Les patients ont un microbiote différent des personnes saines mais on ne sait pas si c'est la cause ou la conséquence de la maladie. Certaines espèces sont associées à la pathologie : on ne les retrouve pas dans un microbiote sain. J'étudie l'impact de ces bactéries sur le développement normal de l'épiderme. » Les organoïdes d'épiderme vont certainement aider à lever le voile sur les mécanismes de la maladie de Verneuil, avec à la clé l'espoir de traitements futurs.



Des outils de premier choix pour tester des médicaments

S'ils sont de plus en plus utilisés par la recherche « académique », c'est dans l'industrie pharmaceutique que l'utilisation des organoïdes a fait un bond considérable ces cinq dernières années : ils sont devenus des outils de premier choix pour tester l'action de médicaments, et évaluer leur toxicité avant de démarrer des essais précliniques. Ils permettent aussi de réduire le recours à l'expérimentation animale.

Autre application des organoïdes, encore hypothétique : la médecine régénérative. Certains imaginent qu'à l'avenir, la technologie s'améliorant, ces outils pourraient servir de « pièces de rechange » pour réparer des organes. Même si la science n'est pas encore prête pour une telle application, cette perspective augmente encore l'intérêt de ces outils en 3D. Pour un tel usage, la frontière entre organes et organoïdes devra s'être estompée, et les organoïdes à greffer seraient alors réellement devenus des mini-organes...

DOSSIER RÉALISÉ PAR LA RÉDACTION



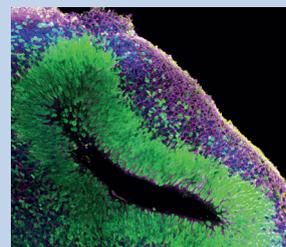
Vieillesse

Des organoïdes dans l'espace



L'équipe de **Miria Ricchetti** à l'Institut Pasteur étudie actuellement des organoïdes cérébraux ayant séjourné... dans l'espace ! « C'était la première fois qu'on mettait en culture dans l'espace des structures cellulaires humaines si complexes » souligne la chercheuse, responsable de l'unité Mécanismes moléculaires du vieillissement pathologique et physiologique. « 84 organoïdes cérébraux développés avec SupBiotech, issus de cellules de

patients atteints d'un syndrome de vieillissement précoce ou provenant de personnes saines, ont été envoyés fin 2023 depuis Cap Canaveral vers la Station Spatiale internationale (ISS) pour passer 40 jours dans l'espace. Cette mission scientifique européenne nommée "Cerebral Ageing (vieillessement cérébral)", était coordonnée par le Centre national d'études spatiales (CNES), en collaboration avec la NASA. Les astronautes étaient chargés de changer le milieu des dispositifs de culture une fois par semaine. C'est une prouesse, en apesanteur ! » De retour au laboratoire, ces organoïdes se sont avérés « d'excellente qualité, plus que ce à quoi on s'attendait ». Ils sont comparés à ceux restés sur terre, en termes d'architecture, de composition cellulaire et d'expression des gènes. Les analyses se poursuivent avec pour objectif de mieux comprendre le vieillissement cérébral, mais aussi d'évaluer les effets de séjours dans l'espace sur les astronautes, alors que des missions de plusieurs mois sur Mars sont déjà programmées. « Nous projetons d'envoyer à nouveau nos organoïdes dans l'espace, mais pour des périodes plus longues, 3 ou 4 mois. Le problème est de savoir quand il y aura de la place... »



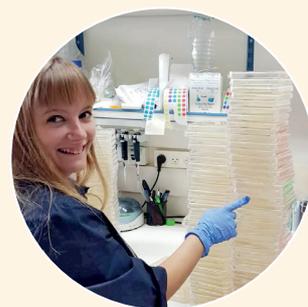


Prise de parole à l'occasion de la sortie de l'ouvrage co-écrit par Aude Bernheim *L'intelligence artificielle, pas sans elles*, en 2019, sur les biais sexistes des algorithmes.

Aude Bernheim, entre évolutions humaines et bactériennes

« La science est un apprentissage permanent, pas une zone de confort. »

À 35 ans, la responsable du Groupe à 5 ans Diversité moléculaire des microbes à l'Institut Pasteur est une chercheuse curieuse et « touche-à-tout », engagée pour changer la façon dont on fait la science.



Aude Bernheim devant des boîtes de « tests de lyse en plaque » en 2019 à l'Institut Weizmann, lors de son post-doctorat.

Impliquée dans l'associatif dès son lycée parisien, Aude fait face à une conseillère d'orientation : « Je lui ai dit que je voulais lutter contre la faim dans le monde, elle m'a répondu qu'il fallait d'abord que j'apprenne comment pousser les plantes », explique la chercheuse en souriant. Malgré ses réserves envers la biologie, elle choisit de suivre ces conseils et s'engage dans une classe préparatoire, puis une école d'agronomie. « J'ai été prise de passion pour la Politique Agricole Commune, mais c'est également dans ce parcours que j'ai découvert la biologie moléculaire, qui m'a immédiatement fascinée. »

Pour son Master 2, Aude choisit le Centre de Recherche Interdisciplinaire, un lieu qui propose une approche différente des sciences, plus créative et liée à la société ; c'est à cette époque qu'elle crée une association dédiée à l'égalité des genres en sciences. « C'était une matrice scientifique unique, pleine de liberté, qui m'a véritablement donné le goût de la recherche ». Si elle choisit de passer le concours des Ingénieurs des Ponts, Eaux et Forêts et de dédier un an au management des politiques publiques, la science la rappelle rapidement. « En découvrant la biologie moléculaire, j'ai développé une curiosité philosophique pour comprendre ce qui est partagé dans le vivant, et un amour de l'expérimentation. »

Elle entre ainsi à l'Institut Pasteur en 2014 pour une thèse sur les « ciseaux génétiques » des bactéries, les systèmes CRISPR-Cas qui leur permettent



L'équipe du G5 Diversité moléculaire des microbes dans les dentelles de Montmirail en 2023.

de lutter contre les virus. Durant cette période, la chercheuse se forme à la bio-informatique et à la microbiologie. « Je considère que l'inconnu n'empêche pas d'avancer, c'est terrifiant et excitant à la fois. » Pour son postdoctorat, Aude travaille à l'Institut Weizmann en Israël, aux côtés d'un pionnier de la découverte des systèmes immunitaires bactériens. En moins de quatre ans, plus de 150 nouveaux systèmes de défense sont identifiés et validés expérimentalement grâce à la méthode qu'ils développent, ouvrant la voie à un nouveau paradigme dans la communauté scientifique. « Ce qu'on apprend en formation est dépassé dès qu'on entre dans le laboratoire. Je pense que notre devoir de chercheuse est de maîtriser les avancées pour les remettre en question et d'aller observer ce qui ne l'a jamais été. La science est un apprentissage permanent, pas une zone de confort. »

De retour en France pendant la pandémie de Covid-19, Aude Bernheim monte un groupe de recherche qui rejoint l'Institut Pasteur en 2023. « J'ai voulu donner un espace de liberté à des personnes aux parcours atypiques, liées par "l'enthousiasme, la lucidité intellectuelle, le non-conformisme et l'amitié", comme le disait le Pasteurien et Nobel François Jacob. » Son équipe interdisciplinaire explore la conservation des systèmes immunitaires dans tout le vivant, des bactéries aux humains, grâce à des approches interdisciplinaires mélangeant outils bio-informatiques utilisant l'Intelligence Artificielle et expériences en génétique moléculaire. « Mon objectif est de repousser les frontières de la recherche sur les systèmes immunitaires, de comprendre les règles générales de l'immunité et de découvrir de nouvelles molécules antivirales. » La chercheuse travaille également avec l'Institut Curie pour améliorer les immunothérapies anticancéreuses, s'intéresse à la phagothérapie (voir page 8), et forme des médecins à la recherche fondamentale.

En plus de ses contributions scientifiques, Aude Bernheim est engagée dans l'inclusion de toutes et tous dans la science, pour la rendre plus accessible et participative. Ses efforts ont été reconnus par sa nomination au Conseil du Président de la République française pour la science fin 2023, et par le prix "Irène-Joliot-Curie Jeune femme scientifique" en novembre 2024.



NEUROSCIENCES

Chiens et humains ont-ils trouvé un langage commun ?

Les humains ralentissent leur élocution lorsqu'ils s'adressent à leurs animaux de compagnie, un réflexe qui pourrait nous rapprocher du rythme vocal du chien et faciliter ainsi la compréhension. Pour expliquer ce phénomène, des chercheurs* se sont penchés sur les ondes cérébrales, ces motifs électriques dans le cerveau qui résultent de l'activité synchrone des neurones et sont impliqués dans les mécanismes cognitifs, comme la capacité à découper les sons en séquences de syllabes facilement assimilables.

Grâce à des protocoles d'électroencéphalographie (EEG) non-invasive menés chez les chiens et leurs maîtres en même temps, les chercheurs ont montré que des ondes de plus basse fréquence (plus lentes donc) que les nôtres étaient impliquées dans le découpage des signaux auditifs chez les chiens. La compréhension de la parole par les chiens ne se fonde ainsi pas sur notre rythme syllabique, trop rapide pour l'assimilation d'une série d'information, mais sur une échelle de l'ordre du mot ou de l'ordre court (couché, pas bouger, etc.). Néanmoins, le contenu sonore reste important : ils ne sont pas uniquement sensibles à notre intonation, contrairement au mythe répandu.

* Étude dirigée par Eloïse Déaux, chercheuse en comportement animal et neuroscience à l'Université de Genève, et Anne-Lise Giraud, professeure en neuroscience à l'Université de Genève et directrice de l'Institut de l'Audition, centre de l'Institut Pasteur.

RESISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES

Une IA pour la phagothérapie : vers une alternative aux antibiotiques

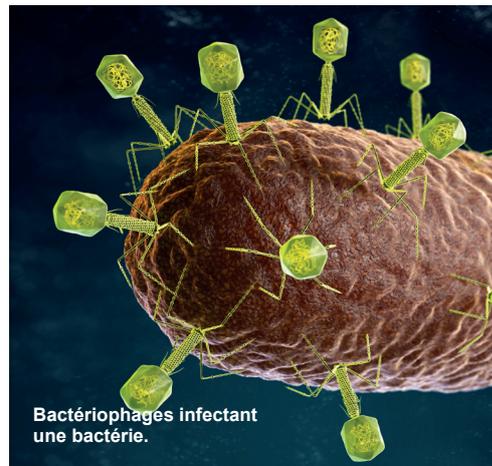
Certaines bactéries dont *Escherichia coli* se révèlent de plus en plus résistantes aux antibiotiques classiques, et causent directement ou indirectement près de 5 millions de décès chaque année dans le monde. Pour contourner ces résistances, la phagothérapie est une piste prometteuse.

Cette méthode utilise des virus appelés bactériophages, qui n'infectent que des bactéries pour éliminer de façon ciblée celles pathogènes pour l'humain. Sachant qu'un bactériophage ne peut infecter que certaines souches bactériennes, des scientifiques* ont décidé d'étudier plus de 350 000 interactions entre des phages et des bactéries *Escherichia coli* afin de savoir s'il était possible de prédire leur efficacité spécifique.

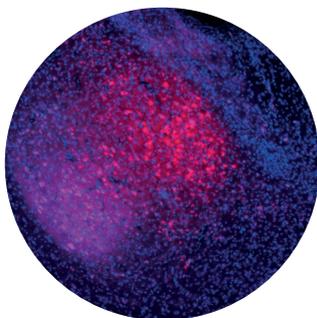
Grâce à ces données, des bio-informaticiens ont ensuite pu concevoir un programme d'intelligence artificielle qui s'est révélé capable de prédire dans près de 90 % des cas l'efficacité des bactériophages à détruire les bactéries. Cette méthode, facilement utilisable dans les laboratoires de biologie hospitalière, est également conçue pour s'adapter facilement à d'autres bactéries pathogènes, ouvrant la voie dans les années à venir à une sélection personnalisée et rapide de phagothérapies.

Grâce à ces données, des bio-informaticiens ont ensuite pu concevoir un programme d'intelligence artificielle qui s'est révélé capable de prédire dans près de 90 % des cas l'efficacité des bactériophages à détruire les bactéries. Cette méthode, facilement utilisable dans les laboratoires de biologie hospitalière, est également conçue pour s'adapter facilement à d'autres bactéries pathogènes, ouvrant la voie dans les années à venir à une sélection personnalisée et rapide de phagothérapies.

* Étude dirigée par Aude Bernheim et menée par Hugo Vayssset et Florian Tesson, respectivement responsable et doctorants au sein du laboratoire Diversité moléculaire des microbes de l'Institut Pasteur, et par Baptiste Gaborieau médecin à l'AP-HP et chercheur dans l'unité IAME de l'Inserm, Université Paris Cité.



Bactériophages infectant une bactérie.



Amygdale marquée par fluorescence. En violet, les neurones en charge du codage des stimuli négatifs et en rouge les neurones préférentiellement en charge du codage des stimuli positifs.

DÉPRESSION

Découverte de l'origine du « biais de négativité »

Grande cause nationale 2025, la dépression touche entre 15 et 20% de la population. Elle conduit les patients à percevoir le monde à travers un « biais de négativité » : les stimuli agréables deviennent moins attrayants et les stimuli désagréables plus aversifs, ce qui favorise le développement et le maintien des symptômes dépressifs.

Les mécanismes de ce biais restaient jusqu'à présent mal connus. Des chercheurs* ont donc décidé d'explorer dans un modèle expérimental la structure qui intègre et oriente les réponses émotionnelles

dans le cerveau – l'amygdale –, et d'observer son fonctionnement lors d'épisodes dépressifs. Ils ont mis en évidence que l'état dépressif induirait un dysfonctionnement des circuits de l'amygdale : la réduction de l'activité des neurones impliqués dans la perception des stimuli positifs, et la suractivation de ceux responsables de la perception des stimuli négatifs. Ces données sont extrêmement précieuses pour mettre au point de nouveaux traitements pour les personnes dépressives, dont près d'un tiers sont résistantes aux traitements médicamenteux classiques que sont les antidépresseurs.

* Étude co-dirigée par Mariana Alonso, chef du groupe Circuits émotionnels au sein du laboratoire Perception et action à l'Institut Pasteur, avec des chercheurs de l'Institut Pasteur et du CNRS, en collaboration avec des psychiatres du GHU Paris Psychiatrie et Neurosciences, de l'Inserm et du CEA.

GÉNÉTIQUE

Qu'est-ce que l'ADN poubelle ?

Notre ADN est souvent présenté comme un immense texte de près de 20 000 « mots » : nos 20 000 gènes codant pour les protéines, éléments constitutifs de la cellule. C'est en « lisant », en transcrivant ces gènes que la cellule peut fonctionner et se diviser. Sauf que... la partie codant effectivement les protéines ne représente que 1 à 2 % de notre génome.

Certains ont avancé l'hypothèse que notre ADN serait majoritairement composés d'éléments inutiles, reliquats de l'évolution. Parmi eux, le généticien Susumu Ohno a inventé dans les années 70 le terme d'ADN poubelle, *junk DNA* en anglais, pour désigner ces « lettres » qui ne semblaient produire aucun « mot ».

Néanmoins, le séquençage complet de notre génome grâce au projet Génome humain terminé en 2003 a ouvert la voie à des découvertes au sein de l'ADN « poubelle ». Selon les estimations, entre 8 et 35 %

de cet ADN serait composé d'éléments désignés par le terme « ADN régulateur », car s'ils ne codent pas directement pour une protéine, ils ne sont pas pour autant dénués de fonction. Cet ADN régulateur, dont seule une petite fraction est conservée entre espèces, servirait de cadre, de « grammaire » à la transcription des « mots » que sont nos gènes codant pour les protéines, afin de former des phrases cohérentes.

Aujourd'hui l'ADN est considéré comme « poubelle » lorsqu'il ne joue pas un rôle essentiel pour la survie des individus et échappe donc à l'action de la sélection naturelle, mais il n'en contribue pas moins à la diversité des caractéristiques individuelles au sein d'une espèce.

Remise en question à chaque nouvelle fonction découverte, la notion d'ADN « poubelle » reste controversée et illustre les limites de la connaissance de notre génome.

La molécule d'ADN, en double hélice, est constitué par l'enchaînement de quatre nucléotides (Adénine, Thymine, Guanine et Cytosine), désignés par les lettres A, T, G, et C. Ce sont ces près de 3,2 milliards de « lettres » qui forment les « mots » que sont nos gènes.

FOCUS

Les œufs peuvent-ils causer la salmonellose ?



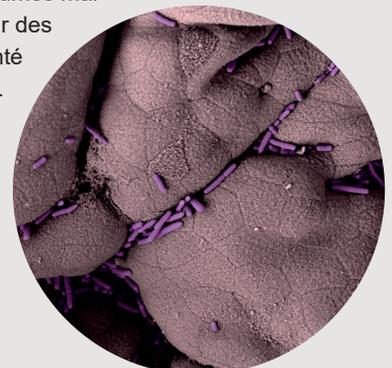
Fin octobre 2024, près de 3 millions d'œufs ont été rappelés partout en France. Ils étaient suspectés d'être contaminés par des bactéries du genre *Salmonella*, responsables de la seconde infection bactérienne d'origine alimentaire en Europe : la salmonellose. Si les troubles intestinaux qu'elle cause sont souvent bénins, la maladie peut s'avérer grave voire mortelle chez les enfants, les femmes

enceintes et les personnes au système immunitaire fragilisé.

Les salmonelles peuvent être présentes dans les intestins des volailles, et contaminer les œufs dès leur formation, ou bien la coquille au moment de la ponte. La consommation de produits à base d'œufs crus ou peu cuits (mayonnaises, mousses au chocolat...) est alors pour l'humain une source de contamination par les salmonelles. Les symptômes apparaissent au bout d'un à deux jours. Ils incluent des douleurs abdominales, de la fièvre, des diarrhées et parfois des vomissements qui peuvent entraîner une déshydratation.

Pour les infections sévères ou chez les personnes à risque de développer une telle infection, un traitement antibiotique peut être prescrit. La prévention reste le meilleur moyen de lutter contre la salmonellose. La cuisson à cœur des produits (œufs durs, pâtisseries...) à +65°C permet de détruire les salmonelles. En revanche pour les préparations à base d'œufs crus, respecter la chaîne du froid bloque le développement des bactéries mais ne les tue pas.

De nombreux autres produits comme les viandes dont la charcuterie, les fromages au lait cru ou les légumes mal lavés peuvent être contaminés par des salmonelles, et les autorités de santé mènent une surveillance constante. L'origine alimentaire de l'infection peut en effet donner lieu à des foyers épidémiques importants. La salmonellose reste une préoccupation de santé publique majeure en France avec une estimation d'environ 200 000 infections chaque année dont environ 4 000 nécessitent une hospitalisation.



Interaction de la bactérie *Salmonella Typhimurium* avec l'épithélium intestinal.

ONE HEALTH

L'Institut Pasteur positionne ses activités « Une seule santé » à l'international



Des membres de l'Institut Pasteur au Congrès mondial « Une seule santé » à Cape Town.

Le World One Health Congress est le congrès international de renom sur l'approche « Une seule santé », une approche multisectorielle entre la santé animale, humaine, et environnementale pour comprendre et anticiper les risques sanitaires mondiaux. Pour la première fois, il a été organisé sur le continent africain en Afrique du Sud autour des principaux défis liés à cette approche, et a aussi permis des discussions sur le partage des données de recherche et des développements politiques.

Dans ce cadre, le pôle des Opérations de la Direction des Affaires internationales de l'Institut Pasteur a présenté son projet phare MediLabSecure. Soutenu par l'Union européenne, ce projet réunit des acteurs de la santé humaine, animale et environnementale afin de développer une approche « Une seule santé » réellement efficace pour lutter contre les maladies à transmission vectorielle dans 22 pays voisins de l'UE. L'équipe du département de Santé globale de l'Institut Pasteur a également pu présenter ses travaux, notamment sur la rage.



PASTEUR NETWORK

Une initiative révolutionnaire sur la technologie ARN messenger



Signature du partenariat pour accélérer la recherche sur les vaccins à ARNm, le 23 octobre 2024 au Brésil, en présence des dirigeants de la Fondation Oswaldo Cruz (Fiocruz), l'Institut Pasteur de Dakar, l'Institut Pasteur Korea, l'Institut Pasteur à Paris et l'Institut Pasteur de Tunis, membres du Pasteur Network.

Plus de 60 ans après la découverte de l'ARN messenger par des chercheurs de l'Institut Pasteur, le développement de stratégies vaccinales à base d'ARN messenger représente une avancée majeure dans la recherche biomédicale. Pour favoriser le recours à cette technologie afin de répondre aux enjeux sanitaires mondiaux, des membres clés du Pasteur Network, dont l'Institut Pasteur à Paris, ont signé un protocole d'accord stratégique en octobre dernier à Rio de Janeiro.

Le partenariat vise à favoriser la collaboration entre les institutions membres pour faire progresser la technologie de l'ARNm et développer des solutions durables pour la production de vaccins dans les régions aux ressources limitées. Il permettra notamment à trois membres du Pasteur Network – l'Institut Pasteur de Tunis, la Fiocruz au Brésil, et l'Institut Pasteur de Dakar – de renforcer leurs capacités locales de production de vaccins à ARNm. Les institutions participantes pourront échanger connaissances et ressources, créant un écosystème solide pour l'innovation et l'amélioration de la santé publique. L'Institut Pasteur à Paris mettra à disposition son expertise reconnue en recherche et ses plateformes technologiques avancées pour soutenir cette initiative.

ASIE-PACIFIQUE

Renforcer la recherche sur les maladies infectieuses



L'Institut Pasteur et A*STAR IDL – l'Agence singapourienne pour la science, la technologie et la recherche – Infectious Diseases Labs – ont signé un protocole d'accord (MoU) face aux menaces sanitaires urgentes que représente l'augmentation des cas de maladies infectieuses tropicales dans la région Asie-Pacifique.

La cérémonie de signature du MoU s'est déroulée en présence de Mme Minh-di Tang, ambassadrice de France à Singapour, de la professeure Yasmine Belkaid, directrice générale de l'Institut Pasteur, et de la professeure Lisa Ng, directrice exécutive d'A*STAR IDL. Ce partenariat s'appuie sur la longue expérience de l'Institut Pasteur en microbiologie et maladies infectieuses, sur son rayonnement mondial et sur l'intérêt que porte A*STAR IDL à la recherche translationnelle de pointe. Dans les prochains mois, dans le cadre de cet accord, les deux institutions s'attacheront à développer et renforcer leurs partenariats pour réaliser des demandes de subventions conjointes afin de développer des projets communs.



« PASTEUR 2030 » : UNE NOUVELLE VISION STRATÉGIQUE POUR L'INSTITUT PASTEUR

« Aujourd'hui plus que jamais, il est crucial de protéger et de soutenir la recherche biomédicale destinée à comprendre, prévenir et traiter les maladies. L'évolution rapide des menaces environnementales et infectieuses, ainsi que la hausse mondiale des maladies non transmissibles, mettent en évidence l'importance de notre mission. »

Yasmine Belkaid, directrice générale de l'Institut Pasteur

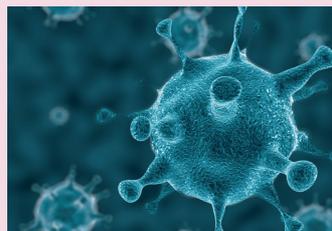
Depuis sa création en 1887, l'Institut Pasteur a toujours fait face aux défis sociétaux et scientifiques de son époque. Fort de son héritage et de ses atouts, engagé pour préserver la liberté essentielle à la créativité et aux découvertes scientifiques, l'Institut Pasteur répond aux enjeux modernes avec la mise en place d'une nouvelle vision stratégique baptisée « Pasteur 2030 », que nous avons souhaité vous présenter ici. Les objectifs sont regroupés autour de quatre grandes priorités :

Comprendre l'impact des transitions environnementales sur la santé : dans un monde en pleine transition écologique, notre objectif est d'atténuer les conséquences des changements climatiques et environnementaux sur la santé humaine. Nos chercheurs se pencheront notamment sur les maladies transmises par les vecteurs comme les tiques et les moustiques, ainsi que sur les infections émergentes.

Faire face aux risques infectieux : alors que nous sommes toujours vulnérables face aux maladies infectieuses et à l'accroissement de la résistance aux antimicrobiens, notre objectif est d'identifier, de mieux comprendre et de surveiller les agents pathogènes. Ces avancées seront la base du développement de thérapies et de vaccins innovants pour contrôler les maladies infectieuses.

Étudier l'origine des maladies : pour répondre à la hausse alarmante des maladies inflammatoires et des maladies non transmissibles (cancers, maladies neurodégénératives...), notre objectif est d'analyser, de comprendre et d'agir sur les facteurs qui perturbent l'équilibre biologique et favorisent l'apparition de maladies.

Explorer la santé et la maladie aux extrémités de la vie : les premiers moments de la vie et le processus de vieillissement sont des étapes de vulnérabilité déterminantes pour notre santé, qui nécessitent des approches sur-mesure. Nous explorerons la relation mère-enfant, aujourd'hui très peu étudiée, ainsi que la réponse aux vaccins et aux traitements de l'organisme vieillissant.



« Pasteur 2030 » s'est construit comme un collectif qui rassemble toutes les forces de l'Institut Pasteur et des plus de 30 membres du Pasteur Network, favorisant l'interdisciplinarité et la collaboration. Ces engagements se concrétisent dans plusieurs projets phares dont notamment :

- **Un centre pour le climat, l'environnement et les infections :** un nouveau bâtiment en construction avec des infrastructures de pointe pour lutter contre les maladies émergentes et à transmission vectorielle.
- **Une Task force d'enquête sur les épidémies** dans le cadre de l'Initiative Pasteurienne de préparation aux pandémies, en collaboration avec l'AP-HP et l'Université Paris Cité.
- **Un centre de vaccinologie et d'immunothérapie :** une structure dédiée au développement de vaccins et d'immunothérapies de nouvelle génération, en s'alignant sur l'initiative « France Vaccins ».
- **Un centre de découverte et de développement de médicaments :** une future structure pour offrir à nos scientifiques l'accès à toute la chaîne nécessaire à la mise au point de nouvelles molécules thérapeutiques.

IFI
2025

TOUT SAVOIR SUR L'IFI

Jusqu'à 75 % du montant de votre don peuvent être déduits de votre impôt. Pour toute question sur la fiscalité des dons et pour connaître en détail les déductions auxquelles vous avez droit concernant l'Impôt sur le Revenu ou l'Impôt sur la Fortune Immobilière, rendez-vous sur ifi.pasteur.fr

Soutenez nos chercheurs dans la durée

Vous croyez en la recherche d'excellence et savez combien les découvertes de l'Institut Pasteur sont cruciales pour votre santé et celle de vos proches ? En optant pour le don mensuel, vous apportez à nos chercheuses et chercheurs un soutien précieux, car c'est dans la constance du don que peut se construire la recherche.



PASTEUR & VOUS

NOS CHERCHEURS

SE MOBILISENT AU QUOTIDIEN POUR L'AVENIR DE NOTRE SANTÉ.

Quel avantage pour les équipes de l'Institut Pasteur ?

Grâce au soutien régulier permis par le prélèvement automatique, nous réduisons nos frais d'appels aux dons au profit d'investissements essentiels comme du matériel technologique de pointe. En connaissant les ressources dont ils disposent, nos chercheurs sont plus facilement en mesure de planifier et pérenniser leurs projets, pour mettre en place sur le long terme des programmes d'excellence, innovants et prometteurs.

Quel avantage pour vous ?

En optant pour le don mensuel, vous simplifiez votre soutien : votre don est prélevé automatiquement tous les mois. Vous pouvez à tout moment le modifier ou le résilier en vous rendant sur votre espace donateur, muni de votre numéro de donateur : <https://don.pasteur.fr/espacedonateur/>. Notre équipe Relations Donateurs se tient également à votre disposition pour toute question relative à votre don ou pour le moduler en toute simplicité.

SOUSCRIVEZ
AU DON MENSUEL

5 MINUTES
SUFFISANT

En flashant ce QR Code :



ou rendez-vous sur :
SOUTENIR.PASTEUR.FR/ETVOUS/



- Munissez-vous de votre RIB.
- Remplissez les étapes du formulaire de don sécurisé prévu à cet effet et laissez-vous guider.

La première échéance de votre prélèvement aura lieu le mois suivant sa mise en place. Votre reçu fiscal annuel vous sera quant à lui transmis au premier trimestre de l'année suivant son activation. Et ce que vous optiez pour une souscription en ligne ou par voie postale

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

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.

MES COORDONNÉES

Nom

Prénom

Adresse

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. Vous pouvez par ailleurs contacter notre délégué à la protection des données personnelles par e-mail à 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 .

La lettre de
l'Institut Pasteur



Lettre trimestrielle éditée par l'Institut Pasteur

Directrice de la publication : Yasmine Belkaid • Directeurs de la rédaction : Antoine Bogaerts, Constance Derely • Rédacteur en chef : Corinne Jamma • Rédaction : Arthur Amiel, Corinne Jamma • Ont participé à ce numéro : Anne Buriel-Parentel, Alice Henry-Tessier, Aurélie Perthuisson, Maxime Rotival, François-Xavier Weill • Direction artistique, réalisation : BRIEF • Crédit photos : © Pasteur Network © Agency for Science, Technology and Research © Claire-Hélène de Badts, Institut Pasteur © Institut Pasteur / François Gardy ; Perrine Bomme ; Nouara Lhocine ; Chiara Cimmaruta • 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.

