

ÉDITO



Voir, entendre, sentir... soigner

La recherche et la médecine peuvent souvent paraître éloignées de l'expérience humaine, de nos ressentis, de nos perceptions. Vous découvrirez dans ce numéro que ces dernières sont d'une grande utilité aux scientifiques, et que leur étude nous en apprend autant sur notre rapport au monde que sur la santé de notre cerveau, dont elles sont le témoin privilégié. Façonnées par des processus biologiques et des états mentaux, nos perceptions peuvent être perturbées par des maladies comme Alzheimer ou Parkinson, et des troubles neurologiques comme la dépression ou la dyslexie. Chez les personnes touchées, la vision de la réalité s'en trouve déformée, bouleversant les schémas sociaux et émotionnels, mais permettant également de prendre la mesure du trouble, parfois même d'établir un diagnostic, voire des pistes thérapeutiques. À l'Institut Pasteur, les chercheurs de l'unité Perception et mémoire s'intéressent notamment aux mécanismes de l'olfaction et de ses liens particuliers avec nos émotions ; tandis qu'au sein de l'Institut de l'audition, dirigée par Anne-Lise Giraud, nos chercheurs démontrent les effets bénéfiques de certaines stimulations auditives. Votre soutien est leur sixième sens, qui guide les découvertes de demain. Merci d'être fidèles à nos côtés.

Pr Stewart Cole,

Directeur général de l'Institut Pasteur

LE DOSSIER



Les sens, une fenêtre sur notre cerveau

Et si nos perceptions pouvaient être
un outil diagnostic et thérapeutique ?

« Je pense donc je suis » (*cogito ergo sum*) affirmait le philosophe et mathématicien René Descartes, distinguant nos sensations physiques de notre vie mentale. Trois siècles plus tard, les avancées des neurosciences ont montré que le cerveau n'était pas un organe isolé dans notre crâne, mais une interface permanente avec le reste du corps et l'environnement extérieur. Nos sens et notre cerveau dialoguent en permanence ; il est aujourd'hui possible d'analyser cette influence réciproque pour déceler l'origine de certains troubles, et d'utiliser ces connaissances dans un but thérapeutique.

SUITE P. 2



P. 08

ACTUALITÉS

Vers un vaccin contre
l'asthme allergique



P. 09

QUESTION SCIENCE

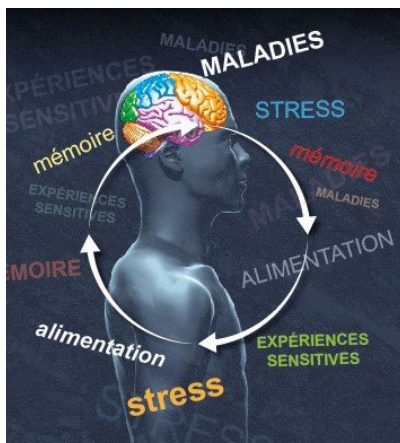
Les infections
nosocomiales



P. 10

INTERNATIONAL

Vers un Institut Pasteur
de São Paulo

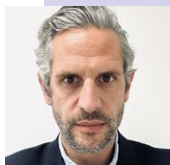


Notre cerveau est le système le plus complexe jamais étudié. Ses 86 milliards de neurones forment des réseaux qui orchestrent des fonctions générales comme la perception sensorielle, la réponse émotionnelle, l'attention, la mémoire, la prise de décision ou le langage. Pour agir ou penser, elles sont toutes mobilisées à des degrés divers : c'est la cognition. Cette notion moderne est bien éloignée du cogito de Descartes, car les fonctions cognitives sont ouvertes sur les phénomènes biologiques de notre corps, des hormones au système immunitaire en passant par le microbiote intestinal.



ACTION PASTEUR

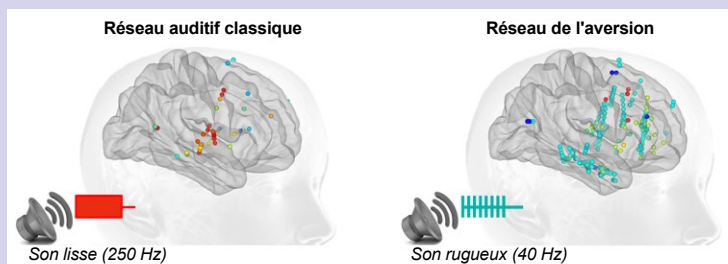
Les sons rugueux : un marqueur précoce d'Alzheimer ?



Cris d'animaux, pleurs de nourrissons, sonneries de réveils... tous ces sons utilisent une gamme de fréquences particulièrement saillantes baptisées « rugueuses », qui captent l'attention et induisent une réponse émotionnelle, une aversion forte, chez l'humain et la plupart des mammifères, mobilisant des réseaux neuronaux anciens et profonds. « Or, dans un certain nombre de maladies neurodéveloppementales et neurodégénératives, comme la maladie d'Alzheimer, le cerveau des personnes affectées semble moins réactif aux sons rugueux. » remarque **Luc Arnal**, responsable de l'unité Cognition et communication auditive à l'Institut de l'Audition. « Notre hypothèse est que ces maladies affectent des réseaux hors du système auditif classique, les mêmes que ceux empruntés par les sons rugueux. »

La maladie d'Alzheimer, qui touche plus de 1,2 millions de personnes en France, est connue pour affecter les structures liées à la mémoire. Mais avant d'en arriver là, elle dégrade d'autres réseaux encore mal connus. « Identifier le chemin par lequel la maladie se propage pourrait permettre d'établir un diagnostic précoce selon les fonctions cognitives affectées, ici : le traitement des sons rugueux. » Dès 2019, Luc Arnal et son équipe ont montré que ces bruits irritants mobilisaient notamment l'amygdale, impliquée dans la réaction au danger, ainsi que les zones associées à l'attention. « Dans le cas de la maladie d'Alzheimer, cela pourrait affecter la sensibilité auditive, et modifier le rapport au monde des personnes atteintes. La perte d'audition est d'ailleurs considérée comme le principal facteur de risque de développer la maladie, modifiable grâce à l'appareillage. »

De nouvelles études sont en préparation pour détailler la réponse du cerveau aux sons rugueux chez des patients atteints d'Alzheimer, et les effets peut-être surprenamment bénéfiques d'une exposition prolongée.



Je perçois, donc je suis ?

Lumière, vibrations, molécules... Au cœur de nos organes sensoriels, des capteurs transforment les signaux physiques et chimiques de l'environnement en un signal, transmis par des nerfs spécifiques jusqu'au cerveau. L'information sensorielle y est traitée par une région précise en fonction de son origine (cortex auditif, visuel, bulbe olfactif...), puis intégrée aux réseaux neuronaux plus larges de la cognition. En fonction de ses attentes, de sa mémoire, le cerveau va en retour guider les sens pour préciser l'information, jusqu'à ce que ce dialogue fasse émerger une interprétation cohérente que nous appelons couleurs, sons, odeurs... Ce phénomène de quelques dizaines de millisecondes abouti à ce que les chercheurs qualifient de perception, qui peut être consciente ou non. Le monde extérieur se révèle ainsi à nous au travers d'un prisme, celui de nos expériences passées, de nos apprentissages, mais aussi de notre humeur, de nos organes sensoriels et de l'anatomie de notre cerveau. La perception englobe également les sensations issues de notre monde interne : rythme cardiaque, respiration, équilibre (proprioception), et même système immunitaire (immunoception). En tant que chef d'orchestre de l'organisme, le cerveau centralise toutes ces informations sensorielles, sans nécessairement les amener à la conscience.

Des constructions changeantes...

Nos perceptions ont fasciné les penseurs depuis l'Antiquité, mais ce n'est qu'avec l'essor des neurosciences, terme créé dans les années 60, que leurs mécanismes ont commencé à être décryptés. Les progrès de l'imagerie médicale, notamment l'imagerie par résonance magnétique (IRM), ont permis d'observer le cerveau en activité et d'identifier les fonctions des différentes aires cérébrales, tandis que les avancées en génétique révélaient l'organisation des récepteurs sensoriels, et les premiers niveaux de traitement de l'information.

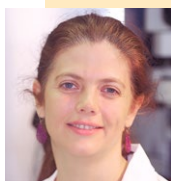
Les scientifiques ont ainsi pu mettre en évidence que nos perceptions étaient modulées par des phénomènes biologiques et des états mentaux. Elles varient donc naturellement au cours du temps chez une même personne, par exemple en fonction de changements hormonaux. C'est une donnée bien connue des parfumeurs professionnels qui, pour manipuler des objets olfactifs de manière fiable, n'utilise leur nez qu'entre 10h et 13h, car c'est

Neurones de l'amygdale, une région primordiale dans l'expression de l'émotion de peur. Elle est composée de sous-populations de neurones impliquées dans différentes fonctions relative à l'intégration de la douleur (neurones en rouge), à l'apprentissage de la peur (neurones en blanc) et à l'activation des réflexes qui lui sont liés.



ACTION PASTEUR

Quand les troubles de l'humeur montent au nez



La madeleine de Proust aurait-elle existé si Marcel avait été atteint de dépression? « Une même odeur peut être perçue très différemment selon notre état émotionnel » rappelle **Mariana Alonso**,

chercheuse au sein de l'unité Perception et mémoire.

Dans le cerveau, le système olfactif possède un accès anatomique privilégié à l'amygdale, la structure qui intègre et oriente les réponses émotionnelles. Si les odeurs sont intimement associée à un état émotionnel – la faim, l'apaisement, le danger, l'éveil, ou la nostalgie d'un plaisir passé – la réciproque est aussi vraie.

Une altération du fonctionnement de l'amygdale impacte ainsi directement l'odorat, de la perception à l'identification. « Dans la dépression par exemple, tout devient gris : les odeurs plaisantes ou désagréables ne suscitent plus d'émotions vives. » Mariana et son équipe étudient ces mécanismes, dans l'espoir de développer des outils de diagnostic précis : « En suivant l'évolution du ressenti émotionnel face à certaines odeurs, il peut être possible de raffiner le diagnostic d'une fluctuation dans l'humeur d'un patient. »

Cette approche est particulièrement pertinente pour les personnes atteintes de troubles bipolaires, chez qui les phases d'euphorie et de dépression peuvent

alterner rapidement. « Les tests sont faciles et ludiques. Ils pourraient être réalisés plusieurs fois par jour, pour être au plus près des perceptions et états du patient. »

Actuellement, la chercheuse étudie en détail le lien entre les troubles olfactifs et la dépression, qui touche plus de 10 % des Français. « Du fait de la multiplicité de ses formes, le diagnostic des troubles dépressifs est souvent imprécis : seulement un tiers des personnes réagissent positivement au premier traitement, et il faut plusieurs semaines pour s'en rendre compte. » Un projet clinique est en cours, afin de déterminer quels types de dépression s'accompagnent de troubles olfactifs.

avant le repas que l'attention olfactive est à son maximum. Dans le cerveau, les seuils de détection des odeurs sont alors au plus bas et l'information olfactive mobilise notre attention, notamment en réponse à des signaux hormonaux de l'appétit. Ces variations peuvent également entraîner des modifications du ressenti : pendant le premier trimestre de grossesse, du fait d'un seuil de perception plus bas induit par des changements hormonaux, les odeurs deviennent trop intenses et donc désagréables. Le lien entre sens et humeur est particulièrement visible dans l'olfaction, car elle mobilise en priorité les réseaux neuronaux de la réponse émotionnelle et de la mémoire événementielle. La fameuse madeleine de Proust est probablement le meilleur témoin de cette relation unique.

... et fragiles

Mais que se passe-t-il lorsqu'une anomalie vient gripper les rouages de cette machine complexe? L'accroissement des

connaissances sur le fonctionnement du cerveau a permis de mieux comprendre le lien fort qui existe entre nos perceptions et notre santé cérébrale. Certaines maladies neurologiques et psychiatriques peuvent altérer le traitement de l'information sensorielle, alors même que les organes qui les produisent sont intacts. Troubles du neurodéveloppement comme ceux du spectre de l'autisme, troubles de l'humeur comme la dépression ou la bipolarité, maladies neurodégénératives comme Parkinson ou Alzheimer... toutes ces pathologies impactent les connexions entre neurones, et peuvent avoir une influence directe sur nos ressentis. Les liens entre la perte de l'audition, perte de l'odorat et neurodégénérescence sont ainsi connus depuis plusieurs années : les personnes âgées malentendantes ou hyposmiques (à l'odorat diminué) sont plus susceptibles de développer une démence, la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson que celles ayant une perception normale. Bien que les mécanismes exacts de cette relation



Dans son roman *Du côté de chez Swann*, Marcel Proust raconte en détail comment le parfum d'une madeleine projette le narrateur dans un agréable souvenir : celui d'un thé chez sa tante à Combray.

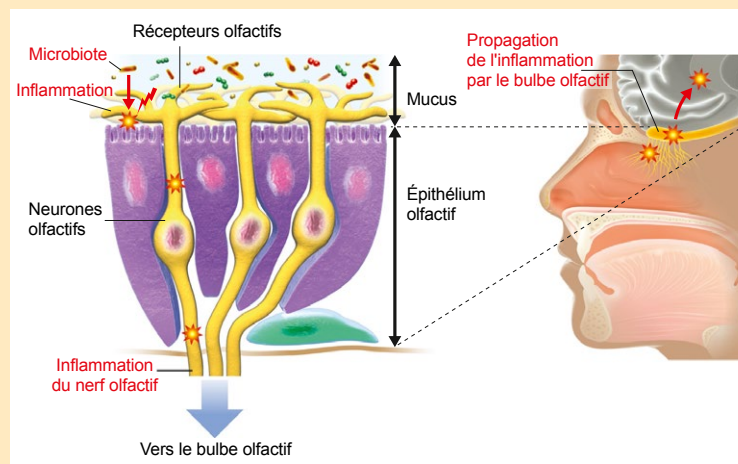
SUITE P. 4

Réunion de suivi du projet
SMELLPARK, avril 2023ACTION
PASTEUR

Démasquer Parkinson grâce à l'odorat

L'anosmie, ou perte de l'odorat, a été rendue célèbre par la Covid-19, mais elle peut être le symptôme d'autres pathologies. « *Il s'agit notamment d'un des signes précoces de la maladie de Parkinson: les troubles de l'odorat touchent la quasi-totalité des patients, et plus de 40% deviennent anosmiques.* » confirme **Françoise Lazarini**, chercheuse au sein de l'unité Perception et mémoire.

L'une des premières zones cérébrales touchées par la maladie de Parkinson est en effet le bulbe olfactif, dont les neurones s'étendent jusqu'à la muqueuse nasale. En contact direct avec l'extérieur, ils sont protégés des agressions, notamment des infections respiratoires, par une communauté de micro-organismes non-pathogènes: le microbiote nasal. De précédentes recherches ont montré que sa composition était liée aux capacités olfactives, « *or elle est très perturbée chez les personnes atteintes de Parkinson.* » souligne Françoise. « *Nous avons lancé le projet SMELLPARK pour comprendre l'impact de cette perturbation sur le cerveau. Elle pourrait par exemple entraîner une inflammation du nerf olfactif, qui s'étendrait ensuite à d'autres zones cérébrales.* » D'autres facteurs participent à cette dynamique, mais l'étude du microbiote nasal a plusieurs avantages. D'abord, elle est peu invasive, et permet de distinguer précocement Parkinson d'autres atteintes neurodégénératives. Ensuite, les neurones olfactifs peuvent être renouvelés même à l'âge adulte, une capacité qui pourrait être mobilisée pour ralentir la progression de la maladie. Face à la Covid-longue, Françoise et son équipe avaient d'ailleurs développé un protocole pour restaurer l'odorat des patients anosmiques, en le stimulant plusieurs fois avec cinq odeurs différentes. « *Avec SMELLPARK, de nouvelles études sont en préparation pour confirmer ces résultats chez les personnes atteintes de Parkinson, et isoler les anomalies du microbiote nasal spécifiques à la maladie.* »



La maladie de Parkinson touche plus de 270 000 personnes en France. Elle entraîne d'abord des troubles de l'odorat et de la digestion, puis des troubles du sommeil et de la motricité, et enfin des troubles cognitifs et émotionnels

• • •

restent inconnus, il est aujourd'hui indiscutable qu'avec le vieillissement, le niveau de déclin cognitif est directement lié au degré de la perception. Plusieurs théories sont à l'étude, notamment l'existence d'un lien direct entre les réseaux neuronaux impactés par la maladie et ceux de l'audition ou de l'odorat. L'isolement social causé par la diminution de ce sens primordial à la communication peut aussi entraîner des perturbations émotionnelles importantes. Pendant la Covid-19, la perte de l'odorat a par exemple été corrélée à une augmentation de l'anxiété, du fait de l'incapacité à prédire un danger potentiel (fuite de gaz, nourriture avariée...) mais aussi à identifier sa propre odeur corporelle. Heureusement, si notre cerveau pâtit du bouleversement de nos perceptions, ils peut aussi bénéficier de leur stimulation.

Les cercles vertueux du cerveau

Contrairement aux circuits électriques, les connexions entre neurones sont plastiques et peuvent modifier la force de leur connectivité, leur capacité à transmettre des informations. Notre cerveau s'organise ainsi pour répondre de la manière la plus efficace aux tâches auxquelles il est confronté. Ce phénomène de plasticité est au cœur des mécanismes d'apprentissage, mais peut être exploité à des fins thérapeutiques. La stimulation intellectuelle, sociale, l'activité physique et la découverte d'environnement nouveaux mobilise de nombreuses régions cérébrales, créant un état de perception active et d'interactions entre nos sens, une boucle dynamique dans laquelle le cerveau et le corps se sollicitent l'un l'autre. Perception et action génèrent des cercles vertueux, bénéfiques pour la santé générale du cerveau, permettant de lutter contre les effets du vieillissement et pallier certains troubles. En effet, si la stimulation répétée de réseaux de neurones renforce les fonctions associées, elle induit également une augmentation de l'activité des cellules gliales, presque aussi nombreuses que les neurones, chargées d'entretenir, de réparer et de protéger le cerveau. Dans certaines zones cérébrales, la stimulation répétée peut même amener à la production de nouveaux neurones: c'est le mécanisme de neurogenèse, qui commence durant le développement embryonnaire, et se poursuit durant les premières années de la vie dans certaines parties du cerveau. À l'âge adulte, la neurogenèse persiste de manière très localisée,

SUITE P. 6

• • •



L'ENTRETIEN

Anne-Lise Giraud

Directrice de l'Institut de l'Audition.

« Face aux troubles de l'audition et de la parole, nous sommes capables de comprendre l'activité cérébrale à l'échelle de l'individu, et de la moduler. »

Les mécanismes de notre cerveau sont-ils entièrement décryptés ?

Non, et le problème se pose aujourd'hui différemment. Depuis le début du 20^e siècle, deux conceptions du cerveau s'affrontent : la vision modulaire, qui associe une zone à une fonction, et la vision intégrée qui postule que l'ensemble du cerveau contribue à la construction d'un signal cohérent. La bonne réponse est probablement à mi-chemin entre les deux : certaines zones sont indispensables à certaines fonctions, comme la parole ou la perception sensorielle, mais elles doivent fonctionner en réseau avec le reste du cerveau pour faire émerger nos actions et nos représentations. Quoiqu'il en soit, et bien que la recherche fondamentale soit indispensable, nous en savons aujourd'hui suffisamment pour agir. Les années 2020 marquent l'entrée dans une ère translationnelle : la recherche est maintenant en mesure de produire des thérapies, d'où la récente création par l'Institut Pasteur et l'Institut de l'Audition d'un Institut Hospitalo-Universitaire dédié aux troubles de l'audition et de la parole (voir page 11).

L'étude des perceptions a-t-elle contribué à cette transition ?

C'est en considérant le cerveau comme une interface avec le monde extérieur que certaines avancées concrètes ont pu être réalisées. Le cerveau donne à chaque instant la meilleure interprétation possible de ce qui lui parvient sur le plan sensoriel. Ce que nous percevons est une construction mentale résultant d'une activité interne, dite « endogène », du cerveau : la sensorialité pure n'existe pas. Ainsi si les processus endogènes sont en décalage avec les

processus sensoriels, à cause d'un trouble de la connectivité cérébrale, ou d'un trouble de l'humeur, l'individu ne dispose plus d'une interface cohérente pour interagir avec le monde extérieur. Il devient alors possible de comprendre quels processus sont liés au trouble, et peut être d'agir sur eux. Ce problème d'interface entre l'activité endogène et la perception sensorielle est au cœur de nombreux troubles, comme la dyslexie (voir page 6), la dépression ou la maladie d'Alzheimer. Il est particulièrement visible dans les troubles de la parole du spectre de l'autisme, que nous étudions actuellement avec la psychiatre Mariette Vinurel.

Quel est le lien de ces troubles avec l'audition ?

Les enfants autistes ont des difficultés avec le langage, alors que leur audition fonctionne correctement. Le problème pourrait se situer au niveau de la faculté de parole, mais nous avons été surpris par des témoignages de personnes autistes : ce n'est qu'à partir du moment où elles ont appris à lire qu'elles ont compris l'information contenue dans la langue parlée. De là, nous avons formulé l'hypothèse que c'était leur interface avec les sons qui posait problème, et non leurs capacités langagières.

Nos premiers résultats montrent que c'est bien le cas. Les enfants autistes ont des rythmes neuronaux particuliers, qui ne leur permet pas de découper la parole en unités linguistiques de base comme la syllabe. Leur activité cérébrale endogène crée ainsi des interprétations uniques, qu'on ne saurait se représenter. Par exemple, les enfants autistes peuvent mettre jusqu'à une seconde pour intégrer un stimulus auditif et un stimulus visuel, là où nous ne mettons que 200 millisecondes. Cela les empêche d'interfacer correctement les sons avec les autres stimuli sensoriels, notamment visuels, pouvant expliquer les problèmes sociaux, l'hypersensibilité, les détournements de regard...

Quelles pistes thérapeutiques ont été ouvertes par ces avancées ?

Grâce aux progrès des techniques d'imagerie fonctionnelle, il est aujourd'hui possible d'étudier finement le cerveau en activité, et même de montrer celle-ci en temps réel à la personne observée : c'est la technique du neurofeedback, qui permet une autorégulation pour favoriser les comportements adaptés. Nous nous dirigeons ainsi vers une médecine et une science individualisée. En neurosciences, les grands échantillons permettent de comprendre les mécanismes fondamentaux de l'activité cérébrale, mais si nous voulons aider les malades, il nous faut comprendre ce qu'il se passe dans chaque cerveau. À l'Institut de l'Audition, nous développons ainsi des interfaces cerveau-machine personnalisées : chaque système devra être adapté à chaque patient et sa pathologie particulière, des troubles de la perception auditive jusqu'aux troubles de la parole.

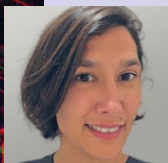
“

Nous nous dirigeons
vers une médecine
et une science
individualisée.”

Les cellules gliales (en vert), ici des astrocytes chargés d'apporter des nutriments aux neurones (en rouge), sont indispensables au bon fonctionnement de notre cerveau.

ACTION
PASTEUR

Aider le cerveau à trouver son rythme



Aucun traitement standardisé n'existe à l'heure actuelle contre la dyslexie, un trouble de la lecture qui touche pourtant 7% des écoliers français.

Mais grâce aux neurosciences, certaines caractéristiques propres au cerveau des personnes dyslexiques ont pu être mises en évidence : les sons seraient par exemple traités selon un rythme particulier, qui affecterait la correspondance avec l'écrit. **Sophie Bouton**, chercheuse au sein de l'unité Traitement de la parole et neuro-ingénierie, développe

une thérapie innovante et non-invasive afin d'aider le cerveau des personnes dyslexiques à mieux battre la mesure, et leur trouble.

« Face à la parole, le cerveau cherche à suivre le rythme de ce qu'il entend : les neurones du cortex auditif vont osciller à la même fréquence que le signal perçu. Grâce à de simples stimulations auditives, nous pouvons ainsi influencer la manière dont le cerveau traite l'information. »

Ce phénomène d'oscillations neuronales permet au cerveau de découper les sons en syllabes facilement assimilables.

Or, pour apprendre à lire, il est nécessaire d'aller plus loin dans le découpage, et de faire correspondre de très petites unités de sons, les « phonèmes », avec des lettres ou des groupes de lettres. « Le travail d'**Anne-Lise Giraud** a montré que chez les dyslexiques, la parole est découpée différemment : les oscillations neuronales sont plus rapides. La transition de la syllabe au phonème est alors moins évidente. »

L'équipe d'Anne-Lise et Sophie explore donc la possibilité de stimuler le cerveau afin de l'aider à trouver un rythme propice à l'apprentissage. De précédents travaux ont montré que cette approche était efficace à court terme chez les adultes dyslexiques, et une nouvelle étude nommée RnDys a été lancée pour confirmer cette hypothèse chez les enfants. « L'idée est de proposer régulièrement aux enfants un jeu pédagogique qui stimule leur audition, puis de suivre leur apprentissage avec un orthophoniste. Les recrutements sont en cours ! »



Écoutez Sophie présenter l'étude RnDys en vidéo.

Décrypter les mécanismes de nos perceptions nous offre une fenêtre sur le cerveau, mais aussi sur notre conscience, nos émotions, notre rapport au monde et aux autres.

notamment autour de l'hippocampe, responsable de la mémoire et des apprentissages. Cette capacité à produire de nouvelles cellules permet au cerveau adulte de s'adapter aux changements survenant dans son environnement ; mais aussi de se réparer en cas de lésion ou de maladie. Certains sens, comme l'olfaction, bénéficie d'une neurogenèse continue des neurones sensoriels présents dans notre nez, ce qui permet de régénérer tout au long de la vie nos capteurs olfactifs endommagés après une infection virale ou une exposition à des composés toxiques.

Mieux nous comprendre, mieux nous guérir

L'étude de la neurogenèse et de la plasticité cérébrale sont la clé des futures thérapies contre les maladies neurodégénératives et les troubles de la connectivité cérébrale.

Si les avancées récentes de la recherche ont montré que la complexité du cerveau avait été sous-estimée, notamment dans son lien avec les autres systèmes du corps, les outils technologiques permettent aujourd'hui de comprendre en profondeur ces interactions. Avec la découverte de nouveaux cercles vertueux, il devient possible de mobiliser les capacités naturelles d'entretien, de réparation et d'adaptabilité du cerveau pour développer des outils diagnostiques et thérapeutiques innovants, peu invasifs. Bien qu'elle ne soit qu'une composante du fonctionnement de cet organe si complexe, décrypter les mécanismes de nos perceptions nous offre une fenêtre sur le cerveau, mais aussi sur notre conscience, nos émotions, notre rapport au monde et aux autres.

DOSSIER RÉALISÉ PAR LA RÉDACTION



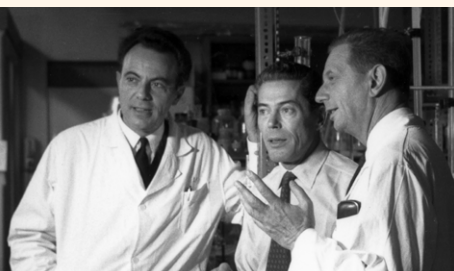
L'entrée du bâtiment Duclaux aujourd'hui, sur le campus de l'Institut Pasteur à Paris.

À la découverte de l'ARN messenger

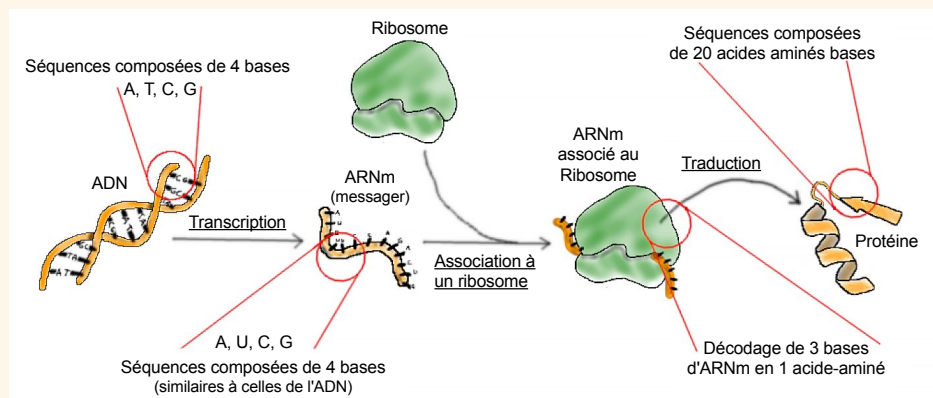
En juin 1960, devant le perron central de l'Institut Pasteur à Paris, deux jeunes biologistes se rencontrent et échangent sur leurs travaux. François Gros et François Jacob s'apprêtent à entreprendre des séjours de courte durée aux États-Unis, le premier sur la côte est à Harvard, le second sur la côte ouest à l'Institut de technologie de Californie. Séparés de 5000 kilomètres, ils vont confirmer presque en même temps l'existence de l'ARN messenger, le chaînon manquant entre la molécule d'ADN et la synthèse des protéines.

Si la découverte de la structure en double hélice de l'ADN en 1953 a permis de comprendre comment l'information génétique pouvait être stockée, et dupliquée à l'identique lors de chaque division cellulaire, les mécanismes permettant de « lire » cette information et de synthétiser les protéines du vivant restaient incertains. À l'Institut Pasteur, Jacques Monod et André Lwoff avaient théorisé que l'information génétique pourrait être transmise par un intermédiaire, une copie de la séquence d'ADN correspondant à la protéine : un acide ribonucléique, ou ARN. Cette molécule instable, qu'ils qualifièrent de « messenger », pourrait sortir du noyau de la cellule pour être lue par les ribosomes, les structures permettant de synthétiser les protéines. Les expériences de François Jacob et de François Gros aux États-Unis confirmèrent cette intuition, et de retour à l'Institut Pasteur, ils collaborent avec Jacques Monod et André Lwoff qui officialisent la découverte de l'ARN messenger en juin 1961 dans un article historique.

Quatre ans plus tard, les travaux de François Jacob, Jacques Monod et André Lwoff sont récompensés par un prix Nobel de médecine. Mais la découverte de l'ARN messenger est le produit d'un effort collectif et international, notamment des chercheurs



François Jacob, Jacques Monod, André Lwoff le jour de l'annonce du Prix Nobel le 14 octobre 1965.



L'information contenue dans la molécule d'ADN est transcrite sous la forme d'un ARNm, elle est composée d'un alphabet à 4 lettres ou « bases ». L'ARNm sort ensuite du noyau de la cellule pour être traduit par les ribosomes. Lors de cette étape, chaque ensemble de base est traduit en un acide aminé parmi 20 possibles, mis bout à bout pour former une protéine, qui ira remplir une fonction déterminée dans la cellule ou l'organisme.

de l'Institut Pasteur et de l'Institut de technologie de Californie. La contribution de François Gros, directeur général de l'Institut Pasteur entre 1976 et 1981, décédé en février 2022, aura été fondamentale dans cette avancée.

Malgré cette distinction, l'ARN messenger est laissé de côté dans les décennies qui suivent. Le fait est qu'au début des années 60, décoder et synthétiser l'ADN est encore impossible d'autant que l'instabilité de la molécule d'ARN n'est pas du tout maîtrisée. C'est notamment Katalin Karikó, biochimiste hongroise émigrée aux États-Unis, qui reprendra les travaux sur l'ARN messenger et ouvrira la voie à son utilisation thérapeutique. La molécule d'ARN est en effet capable de donner l'instruction à nos propres cellules de produire une nouvelle molécule, et ce



François Gros dans les années 60.

pendant une courte durée, son instabilité naturelle entraînant rapidement sa destruction. Les recherches autour de traitements ciblés et de vaccins, notamment contre les cancers, ont ainsi démarré à partir des années 60,

accompagné par les progrès technologiques permettant de produire et de stocker l'ARN à très basse température. Si la pandémie de Covid-19 a porté l'ARN messenger sur le devant de la scène, cette molécule est le fruit de plus de 80 ans de recherches sur le génome humain, une aventure que n'aurait certainement pu imaginer François Gros et François Jacob. Aujourd'hui, plus de 300 essais cliniques utilisant des technologies d'ARN messenger sont en cours, pour lutter contre le sida, la grippe, les maladies rares, les maladies cardiovasculaires...

Antibiogramme de *Shigella sonnei*, les disques contiennent différents antibiotiques qui inhibent (zone claire sans croissance bactérienne autour du disque) ou non la bactérie testée.



SHIGELLA

Émergence en France d'une souche résistante

La bactérie *Shigella* est bien connue dans les régions tropicales. Elle est à l'origine de la shigellose (nommée dysenterie bacillaire dans sa forme sévère), une maladie diarrhéique très contagieuse qui tue environ 200 000 personnes par an. Il existe plusieurs types de *Shigella*, dont un, *Shigella sonnei* qui circule préférentiellement dans les régions industrialisées du monde. Si des traitements par antibiotiques existent, plusieurs souches ont acquis des résistances qui limitent les options thérapeutiques.

Dans une récente étude, des scientifiques* ont montré que la prévalence de certaines souches de *Shigella sonnei* hautement résistantes avait augmenté en France, formant plus de 22% des cas en 2021.

Leurs travaux se fondent sur l'analyse de plus de 7 000 souches de *S. sonnei*, et d'informations épidémiologiques recueillies dans le cadre de la surveillance nationale des shigelloses** entre 2005 et 2021. L'apparition des premières souches hautement résistantes aux antibiotiques sur le territoire a ainsi pu être datée à 2015, et une analyse par séquençage génomique a révélé qu'elles appartenaient presque toutes à une même lignée évolutive ayant acquis divers gènes de résistance, dont le premier en Asie du Sud il y a 15 ans. Ce travail a également permis de retracer plusieurs chaînes de transmission possibles.

Des études restent nécessaires pour mieux connaître les différentes formes cliniques de cette infection, et en particulier s'il existe des formes asymptomatiques permettant une plus grande dissémination de la bactérie.

* Étude dirigée par François-Xavier Weill, responsable de l'unité des Bactéries pathogènes entériques, en collaboration avec Arnaud Fontanet, responsable de l'unité Épidémiologie des maladies émergentes à l'Institut Pasteur.

** Surveillance par le Centre national de référence des *Escherichia coli*, *Shigella* et *Salmonella*, hébergé à l'Institut Pasteur.



COVID-19

Propagation dans les foyers : nouveaux enseignements

Les données récoltées depuis le début de la pandémie continuent de livrer leurs fruits, et renseignent les épidémiologistes sur la variabilité individuelle de la transmission du SARS-CoV-2, notamment dans les foyers.

De multiples études avaient souligné l'importance des « événements de superpropagation », dans lesquels une personne en infecte de nombreuses autres ; 20% des individus infectés seraient ainsi responsables de plus de 80% des contaminations. Néanmoins ces études n'indiquaient pas clairement si cette tendance résultait davantage d'une différence dans le nombre de cas contacts, de facteurs biologiques ou comportementaux. En analysant les données de 17 de ces travaux datant du début de l'épidémie, des chercheurs* ont créé un modèle mathématique décrivant les dynamiques de transmission de la Covid-19 au sein des foyers. Celui-ci a montré que 20% des malades étaient responsables de trois fois plus d'infections intrafamiliales qu'un individu moyen infecté par le SARS-CoV-2, et que des sous-ensembles de superpropagateurs encore plus contagieux existaient.

L'infectiosité individuelle varie donc considérablement au sein d'un même foyer, une différence qui peut être due à des facteurs biologiques, comportementaux ou démographiques. Comprendre les profils associés à ces facteurs aidera les équipes de santé publique à trouver des moyens plus efficaces pour limiter la transmission du SARS-CoV-2, ou d'autres maladies infectieuses.

* Étude codirigée par Simon Cauchemez, et responsable de l'unité Modélisation mathématique des maladies infectieuses à l'Institut Pasteur et l'université de Hong-Kong.

ASTHME

Vers un vaccin contre l'asthme allergique

Inflammation des bronches, gêne respiratoire, surproduction de mucus... L'asthme est une maladie chronique qui touche environ 4 millions de personnes en France, avec près de 50% des cas provoqués par l'inhalation d'allergènes, le plus souvent des acariens. Face aux formes les plus sévères de cet asthme allergique, les traitements actuels sont onéreux et contraignants pour les patients, mais des scientifiques* travaillent au développement d'un vaccin qui pourrait changer la donne.

L'asthme allergique est causé par un emballement du système immunitaire dans les voies respiratoires, déclenchant une surproduction de certaines cytokines, les messagers de l'inflammation. En les attachant à une protéine porteuse utilisée dans de nombreux vaccins depuis les années 90, les chercheurs espèrent pousser le système immunitaire à neutraliser les cytokines responsables de la réaction allergique.

Dans une récente étude prometteuse, leur vaccin a démontré la capacité de neutraliser les cytokines inflammatoires, entraînant une forte réduction des symptômes de l'asthme dans un modèle expérimental. Cette protection semble durable, puisqu'elle est toujours aussi forte trois mois après l'arrêt de la vaccination. Ces résultats ouvrent la voie à des essais cliniques pour une éventuelle solution contre l'asthme allergique. De plus, cette vaccination offre non seulement un espoir de traitement à long terme, mais elle pourrait également réduire les symptômes d'allergie liés à d'autres facteurs, car elle cible des cytokines impliquées dans différentes formes d'allergie.

* Chercheurs de l'unité des Anticorps en Thérapie et Pathologie à l'Institut Pasteur, dirigée par Pierre Bruhns, ainsi que de l'Inserm, du CNRS et de l'Université Toulouse III-Paul Sabatier, avec l'entreprise française NEOVACS.



L'acarien *Dermatophagoides pteronyssinus*, responsable d'allergies respiratoires dans les maisons.

SANTÉ

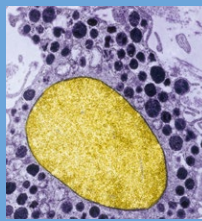
Comment diagnostique-t-on une allergie ?

Les allergies sont dues à un dérèglement du système immunitaire qui « sur-réagit » à des substances de notre environnement, qu'on nomme « allergènes ». Elles touchent plus d'une personne sur quatre en Europe, et peuvent prendre de nombreuses formes. Les symptômes dépendent le plus souvent du type d'allergène : respiratoire, alimentaire, molécules chimiques...

Néanmoins, un allergène respiratoire peut parfois déclencher une urticaire ou des symptômes digestifs, comme un allergène alimentaire engendrer une crise d'asthme, ou une réaction généralisée sévère (choc anaphylactique). Même dans ce dernier cas, l'agent responsable des symptômes n'est pas toujours facile à identifier. C'est pourquoi, les allergologues, médecins spécialisés, mènent une enquête minutieuse pour faire préciser le type des événements allergiques et reconstituer leur chronologie. Ils étudient aussi l'environnement du patient et son mode de vie. Ces données vont ensuite orienter les tests diagnostiques, dont les plus couramment utilisés sont les tests cutanés ou sanguins.



Le test cutané, appelé « prick », consiste à appliquer une petite quantité d'allergène sur l'avant-bras, puis à pratiquer une légère piqûre pour faire pénétrer l'extrait dans la couche superficielle de la peau. Si une réaction allergique se produit, une petite surélévation apparaît sur la zone testée, entourée d'une rougeur, l'ensemble entraînant des démangeaisons.



Un mastocyte (en jaune), une cellule immunitaire, libre des granulations contenant des médiateurs de la réaction allergique, comme l'histamine.

Les tests sanguins mesurent le taux d'anticorps spécifiquement dirigés contre une substance sensibilisante, appelées IgE. Après une première exposition à un allergène, le système immunitaire produit des IgE qui se fixent aux cellules immunitaires. Lors d'une nouvelle exposition, ce sont eux qui vont stimuler ces cellules, et entraîner la libération des marqueurs de l'inflammation.

FOCUS

Les infections nosocomiales

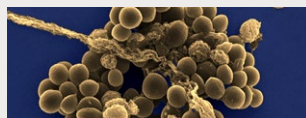


Lorsqu'un patient hospitalisé développe une nouvelle infection 48h au moins après son admission, elle est considérée comme nosocomiale (du latin nosocomium, signifiant infirmerie ou hôpital). La contamination peut provenir du patient lui-même, à la faveur d'un acte invasif ou en raison d'une fragilité particulière, mais aussi du personnel soignant ou de personnes extérieures, voire de l'environnement lui-même (eau, aération, équipements...).

En France, on compte 750 000 infections nosocomiales par an, soit un patient hospitalisé sur 20, causant plus de 4000 décès. La plupart sont dues à des bactéries ou à des champignons microscopiques, mais trois bactéries représentent la moitié des germes isolés dans le cadre d'infections nosocomiales :



Escherichia coli, qui vit naturellement dans les intestins de chacun.



Staphylococcus aureus, présent dans la muqueuse du nez, de la gorge et sur le périnée d'environ 15 à 30 % des individus.



Pseudomonas aeruginosa, qui se développe dans les sols et en milieu humide (robinets, tuyauteries...).



Aseptiser, pasteuriser ?

Au 19^e siècle dans les services de chirurgie, 4 décès sur 5 sont dus à une infection.

En France, c'est notamment Louis Pasteur qui, en demandant aux chirurgiens de se laver les mains entre chaque opération et de stériliser linges, pansements et instruments, va poser les bases de l'hygiène hospitalière moderne.

Pour lutter contre ces infections, les antibiotiques sont le seul recours, mais leur utilisation peut favoriser l'apparition et la diffusion de résistances. Le milieu hospitalier exerce ainsi une forte pression de sélection sur les pathogènes, et près d'un tiers des souches à l'origine d'infections nosocomiales sont résistantes aux antibiotiques. La solution la plus efficace reste la prévention, en appliquant des normes d'hygiène strictes pour détruire tous les micro-organismes, ce qu'on appelle plus communément l'asepsie.



Cellules bronchiques humaines (en bleu) infectées par SARS-CoV-2 (orange).

COVID-19

D'où vient la diversité des variants ?

A lors que plus de 69 % de la population mondiale a été vaccinée contre le SARS-CoV-2 depuis le début de la pandémie, plusieurs nouveaux variants ont émergé, dont certains capables d'échapper à l'immunité naturelle ou induite par la vaccination. Si leur évolution et leur diffusion ont été étudié à l'échelle des populations, peu de données sont disponibles sur la manière dont ces variants émergent au sein même de l'organisme des individus infectés.

Pour comprendre les mécanismes génétiques et environnementales à l'origine de leur apparition, des scientifiques* ont analysé des échantillons issus de 2 820 personnes, incluant différentes lignées virales et différents stades de vaccination. Les résultats montrent que chez les personnes non vaccinées, les variants dits « préoccupants » (Alpha, Delta et Omicron) présentent une plus grande diversité génétique que les autres variants. Ce fait peut notamment être lié au type de mutations apparaissant chez les variants préoccupants, moins susceptibles d'entraîner une modification de leurs protéines, et donc d'affecter leurs capacités de survie. Ces travaux montrent également que la vaccination n'a pas d'impact majeur sur la diversité génétique des variants préoccupants, et ne modifie pas la dynamique de sélection de nouveaux variants au sein de l'hôte. Le risque « d'échappement immunitaire », ou la capacité d'un nouveau variant à échapper aux anticorps produits par l'organisme, ne semble donc pas être augmenté par la vaccination.

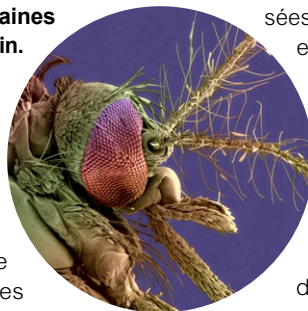
* Chercheurs du pôle de recherche Pasteur de l'Université de Hong Kong, de l'Université de Melbourne, de l'Université des sciences et technologies de Hong Kong et de la société Hong Kong Science and Technology Park.

CAMBODGE

Dans les forêts, les moustiques suivent les hommes

Le Cambodge est un des pays les plus touchés au monde par la déforestation, ce qui n'est pas sans impact sur les populations de moustiques qui y vivent, dont certaines sont vectrices de pathogènes dangereux pour l'humain.

Des chercheurs* ont étudié leur répartition dans 4 forêts protégées, pour mieux comprendre les facteurs influençant leur développement. Parmi les 43 espèces recensées, les moustiques des genres *Culex* et *Aedes*, tous deux vecteurs de plusieurs arbovirus** comme la dengue ou l'encéphalite japonaise, représentaient chacun plus de 40 % des spécimens collectés. La présence de ces espèces, et d'autres particulièrement adaptées aux environnements humains, a été observée dans les sites ruraux comme urbain, au cours des saisons sèches et humides. Les conditions climatiques et géographiques favorables du Cambodge peuvent expliquer cette



Tête de moustique femelle *Aedes albopictus*, vecteur du virus de la dengue et du chikungunya.

BRÉSIL

Vers un Institut Pasteur de São Paulo



La cérémonie de signature des statuts s'est déroulée à l'Institut Pasteur, à Paris, en présence des autorités françaises et brésiliennes, dont M. Tarcísio Gomes de Freitas, Gouverneur de l'État de São Paulo, M. Marco Antonio Zago, Président de la Fondation pour le soutien à la recherche de l'État de São Paulo (FAPESP), Mme Michèle Ramis, Directrice des Amériques du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, et M. Yves Teyssier d'Orfeuill, Consul général de France à São Paulo.

L'Institut Pasteur et l'Université de São Paulo ont signé le 31 mars dernier de nouveaux statuts en vue de la création de l'Institut Pasteur de São Paulo. Avec 17 laboratoires et plus de 80 chercheurs au cœur du campus de la Cidade Universitária, ce nouvel institut mènera des recherches de niveau international sur les maladies transmissibles et non transmissibles, émergentes, ré-émergentes, négligées ou évolutives, y compris celles qui entraînent un dysfonctionnement ou une dégénérescence du système neurologique.

L'annonce vient prolonger un accord signé en 2017, qui avait donné lieu à la construction d'une plateforme scientifique commune entre l'Institut Pasteur et l'Université de São Paulo. Cette collaboration avait déjà porté de nombreux fruits, amenant à la publication de plus de 60 articles scientifiques, notamment au cours de la pandémie de Covid-19. Le futur Institut Pasteur de São Paulo héritera de cette expertise et du statut de membre du Pasteur Network, vaste communauté humaine et scientifique rassemblant plus de 30 membres établis dans une vingtaine de pays. La coopération entre la France et le Brésil en sera notamment renforcée, à travers la réalisation d'actions prioritaires en matière de santé publique entre les deux pays.

relative abondance et diversité, mais ces travaux mettent en évidence l'impact des activités humaines dans des zones supposées protégées. La multiplication des moustiques vecteurs entraîne non seulement un risque de réémergence de pathogènes connus, mais aussi l'émergence de nouveaux pathogènes issus des environnements sylvestres. Depuis 2006, le Cambodge a perdu plus de 65 % de sa couverture forestière, augmentant les interactions entre les humains et la faune sauvage, posant de nouveaux problèmes de santé publique à ce pays, l'un des plus concernés par la dengue en Asie du Sud-Est.

* L'équipe d'entomologie médicale et vétérinaire de l'Institut Pasteur du Cambodge, en collaboration avec l'unité d'épidémiologie et la Wildlife Conservation Society.

** Les arbovirus (« Arthropod-borne virus ») sont des virus transmis à l'humain par des arthropodes hématophages (moustiques, tiques...) à partir d'un réservoir animal ou d'un individu infecté.

RE-CONNECT

Un Institut Hospitalo-Universitaire (IHU) pour les troubles de l'audition et de la parole



Institut de l'Audition, à Paris.

Dans les sociétés industrialisées, aux populations vieillissantes et aux environnements bruyants, de plus en plus de personnes souffrent de perte auditive et de troubles de l'audition. Aujourd'hui les outils et la prise en charge médicale de ces troubles répondent imparfaitement aux besoins qui s'accroissent et se diversifient. S'il est possible de pallier certains déficits

auditifs, nous ne savons pas encore les guérir, alors même qu'ils sont une des causes majeures d'isolement social et professionnel.

Pour répondre à ces enjeux, les ministres de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, de la Santé et de la Prévention, ainsi que chargé de l'Industrie, ont annoncé la création de l'IHU re-Connect dans le cadre du plan Innovation santé 2030. Re-Connect sera porté par l'Institut de l'Audition, centre de l'Institut Pasteur, et soutenu par l'AP-HP, Université Paris Cité et l'Inserm.

Cet établissement sera le premier institut européen dédié à l'audition et au cerveau fédérant tous les acteurs de la santé auditive, avec pour mission de mieux détecter et prendre en charge les troubles de l'audition et de la parole. Son objectif ambitieux est de passer dans la prochaine décennie d'une médecine compensatrice à une médecine réparatrice, grâce aux découvertes fondamentales réalisées au cours des vingt dernières années dans le domaine de la génétique et des neurosciences.

La surdité

dans le monde⁽¹⁾

1,5 milliard

de personnes atteinte d'une déficience auditive en 2021

2,5 milliard

à l'horizon 2050, soit 1/4 de la population mondiale

Plus de 1 milliard

de jeunes adultes aujourd'hui à risque du fait de pratiques d'écoute non sûres

en France⁽²⁾

6 millions

de malentendants

6% des 15-24 ans et

65% des plus de 65 ans concernés

L'Institut Hospitalo-Universitaire re-Connect décroisera les spécialités médicales et réunira de nombreux acteurs :

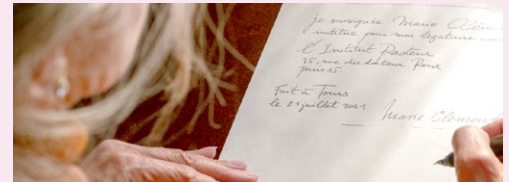
- Chercheurs ;
- Professionnels de santé (cliniciens ORL, neurologues, gériatres, neurochirurgiens, orthophonistes...);
- Associations de patients ;
- Professionnels du monde de l'audiologie et de l'audioprothèse ;
- Industriels du secteur de l'audition.

Il ouvrira la voie à la création d'applications cliniques innovantes comme la thérapie génique, pour faire face aux surdités brutales et aux nuisances sonores, mais aussi au vieillissement ainsi qu'à la maladie d'Alzheimer.

(1) Source OMS / (2) Source Inserm

LEGS

DES EXPERTS EN PHILANTHROPIE À VOTRE SERVICE



Comme chaque année, l'Institut Pasteur lancera sa campagne média de sensibilisation aux legs, donations et assurances-vie qui peuvent lui être consentis en soutien à ses recherches biomédicales

Retrouvez-nous à la télévision, à la radio, sur le web et dans la presse du 7 août au 10 septembre prochains. Nous serons, comme toujours, à votre disposition pour répondre à vos questions sur la transmission de patrimoine, en toute confidentialité et sans engagement de votre part. **Appelez-nous au 0805 215 216** ou rendez-vous sur legs.pasteur.fr.

Merci infiniment pour votre soutien.

VOIR OU REVOIR NOS CONFÉRENCES

« Les secrets de l'odorat pour mieux comprendre le cerveau »

par **Gabriel Lepousez**, neurobiologiste au sein de l'unité Perception et Mémoire



« Microbiote et cerveau: des liens très étroits »

par **Gérard Eberl**, immunologiste, responsable de l'unité Microenvironnement et immunité



Ces deux conférences se sont tenues le 27 juin dernier en présence de

nombreux donateurs et amis de l'Institut Pasteur.



Elles sont accessibles en replay en scannant le QR code ci-contre.

17^e édition du PASTEURDON

« La recherche vit en nous »

Créé grâce à la générosité de nombreux donateurs, l'Institut Pasteur a plus que jamais besoin de dons pour faire avancer ses recherches au bénéfice de la santé humaine. Son grand rendez-vous annuel d'appel à la générosité du public, le Pasteurdon, se déroulera cette année à partir du 4 octobre prochain.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur le site www.pasteurdon.fr

Plus de 50 médias partenaires se mobilisent en faveur des chercheurs pasteuriens et diffuseront gracieusement des spots radios et télévisés. De généreux mécènes, qui soutiennent déjà des équipes de recherche pasteuriennes, sont partenaires du Pasteurdon et proposeront par exemple des produits dont une partie de la vente sera reversée à l'Institut Pasteur: les enseignes Intermarché et Bricomarché, solidaires de la Fondation Le Roch-Les Mousquetaires, proposeront des produits-partage tandis qu'AG2R LA MONDIALE vous invite à rouler pour l'Institut Pasteur avec l'opération Vivons vélo. Autre généreux partenaire, le groupe Assu 2000 versera 2 euros pour toute souscription de contrats d'assurance (automobile, 2 roues, santé et prévoyance): www.assu2000.fr

INSTITUT PASTEUR
LA RECHERCHE VIT EN NOUS

FAITES UN DON
POUR UN AVENIR
MOINS INCERTAIN

Contre les maladies infectieuses, les cancers, la maladie d'Alzheimer... soutenez la recherche.

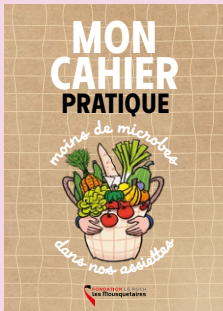
Donnez sur Pasteurdon.fr ou au 36 20

Logo: DON en CONFIANCE

TOUS LES MOYENS SONT BONS POUR PARTICIPER AU PASTEURDON !

Des produits-partage et un guide alimentaire

Partenaire du Pasteurdon depuis plus de 15 ans, la Fondation Le Roch-Les Mousquetaires mobilise à nouveau les enseignes



Intermarché et Bricomarché. Du 3 au 10 octobre, plus de 10 produits-partage seront proposés dont une partie des fonds collectés sera reversée pour soutenir les recherches de l'Institut Pasteur sur la sécurité alimentaire des aliments. À cette occasion, vous pourrez également accéder à la toute première plateforme web pédagogique pour alimentation plus sûre: des conseils pratiques, une approche pédagogique avec des jeux et des contenus traités avec humour pour comprendre et appliquer les gestes au quotidien. Le site est accessible depuis

www.fondationle-roch-les-mousquetaires.org

Rouler pour l'Institut Pasteur



Dans le cadre de son programme « Vivons vélo pour l'Institut Pasteur », AG2R LA MONDIALE, groupe de protection sociale et patrimoniale, et fidèle mécène de l'Institut Pasteur, organise les 23 septembre et 7 octobre prochains des balades à vélo ludiques dans de nombreuses villes.

Les kilomètres parcourus

pendant ces rassemblements ou via l'application *Vivons Vélo* (téléchargeable sur smartphone), seront transformés en dons pour faire grimper le compteur du Pasteurdon.

Plus d'information: www.vivonsvelo.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

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. 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 .



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 • Rédacteurs en chef: Corinne Jamma, Arthur Amiel. • Ont participé à la rédaction de ce numéro: Lucas Grécourt, Gabriel Lepousez, Véronique Colas Des Francs, Jean-Marc Ghigo, Juliette Hardy, Alice Henry-Tessier, Aurélien Coustillac, Anne Buriel-Parendel, Aurélie Perthuisson, Myriam Rebeyrotte • Direction artistique, réalisation: BRIEF • Crédit photos: Institut Pasteur, Ferdinand Jagot/Institut Pasteur, Aline Vitrac et Isabelle Cloëz/Roberto Toro © Institut Pasteur, Françoise Lazarini/Christelle Durand/Sophie Bouton/© Institut de l'audition, Adobe Stock, Getty Images, 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.

