

68

MARS 2026

NUMÉR

Inserm

MAGAZINE

L'ESPACE, nouveau laboratoire de santé

ÉLECTIONS

Un cerveau
sous influence

DÉCOUVERTE

Notre compréhension
des gènes bouleversée

REPORTAGE

La santé précaire
des livreurs à vélo

À la une Alerte sur la santé mentale des agriculteurs

LES VOLONTAIRES,

LE PODCAST DE L'INSERM



**DÉCOUVREZ LA SÉRIE ET PARTEZ À LA RENCONTRE
DE CELLES ET CEUX QUI PARTICIPENT À LA RECHERCHE
EN SANTÉ DE L'INSERM**

**Une série orchestrée par Chandrou Koumar,
journaliste et docteur en neurosciences,
produite par MaisonK Prod**

**Lauréat du Prix
du podcast santé francophone 2025**

Disponible sur toutes
les plateformes d'écoute



UNE NOUVELLE ÈRE DE L'EXPLORATION SPATIALE EN SANTÉ

À l'heure où les ambitions de l'exploration spatiale habitée se redéfinissent à l'échelle internationale, non seulement avec l'implication des acteurs académiques historiques, mais aussi celle des nouveaux opérateurs privés et des nations émergentes, la médecine et la physiologie spatiales sont plus que jamais des domaines de recherche essentiels. L'étude des adaptations de l'organisme humain aux conditions du vol spatial – apesanteur, confinement, isolement, exposition aux radiations – constitue un enjeu majeur, pour garantir la santé des astronautes mais aussi pour approfondir nos connaissances fondamentales sur le vivant. Le Centre national des études spatiales (CNES) s'appuie sur des laboratoires labellisés, en particulier des unités Inserm, pour accompagner et financer cette recherche. Il s'agit de comprendre les mécanismes du déconditionnement des grandes fonctions de l'orga-

Guillemette Gauquelin-Koch

responsable des sciences de la vie et de la médecine spatiale au CNES à Paris

et

Marc-Antoine Custaud

professeur de physiologie et médecin néphrologue à l'université et au CHU d'Angers

la recherche spatiale en santé, permet d'offrir un panorama de cette recherche et de donner des exemples de développement d'outils innovants et de valorisation de ces travaux au service de la santé.

nisme et de développer les moyens prophylactiques pour prévenir ce déconditionnement. Les études sont conduites lors des missions spatiales, mais aussi lors de campagnes de simulation au sol par analogues et à l'aide de modèles fondamentaux de laboratoire. Le dossier central de ce numéro du magazine de l'Inserm, dédié à



6 À la une

Le moral du monde agricole en berne

Comment améliorer la santé mentale des agriculteurs ?

10 Les 6 infos à connaître

Binge drinking, prostate et implant neuronal

12 L'image du moment

Des îles fluorescentes

14 Futur science L'ADN livre de nouveaux secrets



16 Zoom sur... L'influence du stress sur nos choix politiques

17 Planète santé Canicule et sucre

Le réchauffement climatique entraîne une conséquence inattendue : l'augmentation de la consommation de sucre parmi les populations défavorisées.

18 DOSSIER LA MÉDECINE DU FUTUR ENTRE DANS L'ESPACE

Les progrès pour la santé des astronautes accélèrent aussi les découvertes pour les Terriens.



© Inserm/François Guénet

32 Reportage Coursiers, une santé abîmée

38 Opinions Comment diminuer le nombre de maladies cardiovasculaires ?

Les facteurs de risque sont connus, et pourtant les maladies cardiovasculaires tuent de plus en plus. Trois experts nous livrent leurs préconisations.



© Iris Hatzfeld



40

**Une journée avec
Germán Sumbre
et ses poissons
des cavernes**

44
Rencontre
Christelle Soukaseum
Adolescence

46 **CULTURE**

Cinéma
L'HUMAIN POURRAIT-IL HIBERNER ?

En bref
FESTIVALS, PODCASTS, VIDÉOS,
NE MANQUEZ RIEN !

Mots-croisés
CHERCHEZ LES ŒUFS,
TROUVEZ LES MOTS

À la une



© Seventyfour / Adobe Stock

Anxiété, dépression, stress, idées suicidaires... de nombreux agriculteurs du Grand-Est ne vont pas bien. Des scientifiques de l'Inserm à Nancy prennent le problème à bras le corps pour rendre les agriculteurs acteurs de l'amélioration de leur santé mentale.

« **S**i on demande aux gens dans la rue : "pensez-vous que la santé mentale des agriculteurs est bonne ?", une immense majorité répondra à juste titre "non", assure **Abdou Omorou**, médecin épidémiologiste dans l'équipe Inserm Inspiire à l'Université de Lorraine à Nancy. C'est pour répondre à ce constat empirique qu'a été lancé dans la région Grand-Est le projet *Capacité d'agir des agriculteurs pour améliorer leur santé mentale (Cagriment)*, financé par la Mutualité sociale agricole (MSA). » Le projet qui a débuté fin 2024 se décline en deux grands volets : l'état des lieux de la santé mentale des agriculteurs établi en trois temps pour balayer une année complète, puis le codéveloppement d'actions pour l'améliorer.

Les agriculteurs s'expriment...

Première étape donc, prendre le pouls de la santé mentale des agriculteurs. À cette fin, « les caisses de MSA de la région Grand-Est ont envoyé notre premier questionnaire, à TO, à l'ensemble des exploitants, salariés et retraités agricoles, âgés de 18 à 75 ans, soit autour de 50 000 personnes, décrit **Florian Manneville**, épidémiologiste dans cette même équipe et coresponsable scientifique de l'étude avec Abdou Omorou. Pour que

« Le niveau de participation suggère que les agriculteurs ont envie de faire entendre leur voix sur cette problématique : c'est le premier résultat qu'on peut retirer de l'étude »

Abdou Omorou :
unité 1319
Inserm/Université
de Lorraine,
Interdisciplinarité
en santé publique,
interventions
et instruments
de mesure
complexes
- région Est
(Inspiire) ; CIC
1433 Inserm/
CHRU de Nancy

Florian Manneville :
unité 1319 Inserm/
Université de
Lorraine, Inspiire

nos mesures soient suffisamment précises, nous avons besoin de 418 répondants. Or, nous avons été agréablement surpris : au total, 1 148 personnes ont répondu et sont incluses dans l'étude ! Comparé à d'autres sujets dans cette population, ce niveau de participation suggère que les agriculteurs ont envie de faire entendre leur voix sur cette problématique. C'est le premier résultat qu'on peut retirer de l'étude. »

Le deuxième enseignement confirme que la santé mentale des agriculteurs n'est pas au beau fixe. À TO, les niveaux moyens d'anxiété et de dépression mesurés grâce à l'échelle HADS (*Hospital anxiety and depression scale*) sont plutôt élevés, tandis que celui du stress perçu établi à l'aide de l'échelle PSS (*Perceived stress scale*) est modéré.

COMMENT AMÉLIORER LA SANTÉ MENTALE DES AGRICULTEURS ?



© James / Adobe Stock

Or, les chercheurs soulignent que 28 % des agriculteurs ont des pensées suicidaires, qualifiées d'élevées pour 8 %. « Nous observons donc que la probabilité d'avoir des idées suicidaires est sept fois plus élevée chez les agriculteurs que chez les 18-85 ans en population générale », souligne Florian Manneville. Bien sûr, les résultats ne sont pas totalement comparables car les enquêtes diffèrent au niveau de l'effectif, de l'âge, du sexe... « Nos répondants sont à 64 % des hommes et ont 50 ans en moyenne, un biais est donc possible, tempère l'épidémiologiste. Mais il ne peut pas expliquer à lui seul une telle différence. Par ailleurs, les agriculteurs qui vont mal n'ouvrent plus leurs lettres, leurs courriels... Ils n'ont donc probablement pas répondu à notre questionnaire, ce qui m'amène à penser que la description que l'on fait de leur santé mentale est possiblement plus optimiste que la réalité. » Abdou Omorou en est convaincu : « Si d'aventure on avait des résultats biaisés, ce serait dans le sens d'une sous-estimation des problèmes ! »

Des facteurs plus ou moins déterminants

Outre la description de la santé mentale des agriculteurs, les premiers résultats de l'étude mettent en lumière ce qui favorise sa dégradation. « Parmi tous les indicateurs que nous avons observés, la vulnérabilité sociale – autrement dit la précarité sociale – est celui qui est le plus fortement associé à l'anxiété, à la dépression et au stress perçu », souligne Florian Manneville. Viennent ensuite le fait d'être une femme, d'avoir un faible niveau scolaire, d'être jeune, d'avoir la responsabilité d'une exploitation et la nature même de cette

« Nous observons donc que la probabilité d'avoir des idées suicidaires est sept fois plus élevée chez les agriculteurs que chez les 18-85 ans en population générale »

« Mais ce qui frappe, c'est la part des agriculteurs concernés », complète Abdou Omorou. Plus de 40 % des répondants ont une anxiété certaine, et elle est probable pour près d'un quart, soit 66 % d'agriculteurs impactés au total. Côté dépression, les résultats sont un peu moins négatifs, mais elle affecte tout de même 45 % des répondants, 20 % l'étant de manière certaine. En outre, quand le stress perçu, la dépression et l'anxiété augmentent, les idées suicidaires le font également.

© Frédéric Maignot / REA

▼ Charge administrative, contraintes réglementaires, crises sanitaires... les origines du mal-être, voire de la colère, agricole sont nombreuses. Ici, une manifestation près de Strasbourg en janvier 2024.



« Il ne s'agit pas de proposer un énième outil que nous aurions élaboré seuls, mais bien de codévelopper une intervention, son test et son évaluation, avec tous ces acteurs »

dernière. En l'occurrence, « il y a relativement plus d'éleveurs qui ont des idées suicidaires, et les niveaux d'anxiété et de dépression semblent plus élevées chez ceux qui combinent polyculture et élevage, complète l'épidémiologiste. L'élevage semble donc avoir un effet plus défavorable sur la santé mentale, même si ces différences entre les types d'exploitations sont à la limite de la significativité. »

Inversement, les indicateurs porteurs d'optimisme ne sont pas légion. Néanmoins, en moyenne, le locus de contrôle interne, c'est-à-dire le fait qu'une personne estime que les événements qui la touchent sont déterminés par ses actes, est supérieur au locus externe, qui correspond à la sensation de subir des événements qu'on ne maîtrise pas. Or, quand le locus interne augmente, idées suicidaires, dépression et anxiété diminuent. « Autrement dit, quand je suis maître des événements qui arrivent autour de moi, j'agis de manière favorable sur ma santé mentale, indique Florian Manneville. Cela va donc dans le sens du projet, qui vise à amener les agriculteurs à être acteurs de la promotion de leur santé mentale », entendez par là à être en capacité d'agir pour l'améliorer et la préserver. Enfin, à ces données quantitatives, vont s'ajouter sous peu des éléments qualitatifs issus d'entretiens qui ont recueilli la perspective des agriculteurs eux-mêmes, notamment sur leur santé mentale et celle de leur milieu, le soutien social, le système économique et réglementaire de leur profession, leur connaissance de dispositifs d'aide pour la santé mentale.

Objectif : codévelopper une intervention pour aller mieux

L'état des lieux n'est donc pas terminé, mais la deuxième phase de Cagrimment – celle qui vise à élaborer des actions concrètes – est déjà engagée. À cette fin, « nous participons aux comités de prévention du mal-être agricole organisés dans les départements du Grand-Est avec tous les acteurs concernés : syndicats, vétérinaires, banques, MSA..., décrit Florian Manneville. Après leur avoir présenté les résultats, nous leur demandons leur avis : comment expliquer nos observations ? quels sont les freins et comment les lever ?... Et pour l'instant, les

retours sont positifs. » Plus largement, « nous sommes dans une démarche de recherche participative et de santé publique, souligne Abdou Omorou. Il ne s'agit pas de proposer un énième outil que nous aurions élaboré seuls, mais bien de codévelopper une intervention, son test et son évaluation, avec tous ces acteurs. » Un programme ambitieux donc, qui « vise à développer, tester et valider l'ensemble de la démarche, afin qu'elle puisse, à terme, être déployée dans d'autres régions », conclut l'épidémiologiste.

Françoise Dupuy Maury

Aujourd'hui, le père de Vincent a besoin d'être réconforté...

Hier, c'était Vincent qui avait besoin d'être réconforté.

AGRI'ÉCOUTE
SERVICE D'ÉCOUTE D'ÉDUCATION
AU MONDE AGRICOLE

24H/24
7J/7

09 69 39 29 19*
agriecoute.fr



Parce que le mal-être peut toucher tout le monde, Agri'écoute est là pour vous dès les premières difficultés. Des psychologues échangent avec vous à tout moment, en préservant votre anonymat. On a tous besoin d'être soutenu un jour ou l'autre.



▲ La Mutualité sociale agricole se mobilise à l'échelle nationale pour accompagner les exploitants et salariés agricoles, ainsi que leur famille, dans les situations de souffrance ou de détresse.

Les 6 infos à connaître

PENSER DU NEZ

Une odeur pestilentielle peut-elle continuer à nous hanter, au même titre qu'un visage effrayant ou un grincement strident ? C'est la question à laquelle ont tenté de répondre Luca Fantin, Hadrien Ceyte et Gabriela Hossu, en s'intéressant à notre représentation mentale des odeurs. Ils ont ainsi demandé à des participants d'imaginer des odeurs à partir de couleurs, d'images



© Yura Yarema/Adobe Stock

ou de mots évocateurs — heureusement assez plaisants — et ont enregistré leur activité cérébrale par imagerie. Pour d'autres sens, par exemple la vision, la majorité des scientifiques s'accordent sur l'existence

d'une équivalence entre les réseaux neuronaux qui permettent de voir un objet et de se le représenter visuellement. Toutefois, les scientifiques ont observé dans leurs études que les « images olfactives » ne semblent pas impliquer toutes les zones du cerveau dédiées à l'olfaction. En revanche, elles sollicitent des zones habituellement engagées dans des tâches cognitives plus complexes, comme la mémorisation ou les émotions. Entre autres : le cortex préfrontal, la partie la plus avant de notre cerveau,

siège de la planification et de la prise de décision. Imaginer le parfum du bon goûter qui nous attend à la maison mobiliserait donc plus de zones cérébrales que de le sentir en rentrant. F. D.

Luca Fantin : unité 1254 Inserm/ Université de Lorraine, Imagerie adaptative diagnostique et interventionnelle

Hadrien Ceyte : UMR 7287 Aix-Marseille Université/CNRS, Institut des sciences du mouvement Étienne-Jules Marey

Gabriela Hossu : unité 1254 Inserm/ Université de Lorraine ; CIC 1433 Inserm/CHRU de Nancy

L. Fantin et al. *Brain Behav.*, 2 septembre 2025



C'est le nombre de décès par cancer de la prostate en 2022 en France. Si ce cancer se guérit la plupart du temps, les formes avancées ou métastatiques ont un pronostic sombre en raison de leur résistance progressive à la castration chimique — traitement de première intention. Mais les mécanismes de cette résistance viennent d'être en partie décryptés par l'équipe de Vincent Goffin, directeur de recherche Inserm à Paris. Ils révèlent l'implication de cellules « club » reprogrammées après hormonothérapie sous l'effet d'une protéine appelée FOSL1, connue comme facteur de résistance au traitement dans d'autres cancers. Les cellules club deviennent alors insensibles au traitement et plus agressives. Les chercheurs proposent donc une nouvelle approche thérapeutique pour cibler ces cellules résistantes qui jouent un rôle clé dans l'échappement thérapeutique actuel. A. F.

Vincent Goffin : unité 1151 Inserm/CNRS/Université Paris-Cité, Institut Necker-Enfants malades

M. Baurès et al. *EMBO Mol Med.*, 2 février 2026

Fétoception

Sentir son bébé bouger dans son ventre est une expérience qui a depuis peu trouvé un nom : la fétoception. Ces précieux signaux serviraient notamment à évaluer le bien-être du bébé, et produiraient un ensemble de modifications neurobiologiques chez la mère. Selon l'équipe **Moods** de l'hôpital Bicêtre, ils pourraient servir à mieux comprendre certains phénomènes pathologiques comme le déni de grossesse ou la pseudocytèse (anciennement appelée « grossesse nerveuse »). De même, dans le cas d'un trouble de la fétoception, une femme pourrait davantage être exposée à des risques psychiatriques périnataux, tels que la dépression du post-partum. Cette connexion profonde qui existe entre une mère et son bébé nous fait ainsi découvrir de nouveaux canaux de communication jusqu'alors insoupçonnés. F. D.

Moods : unité 1018 Inserm/Université Paris-Saclay, Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations

M. Imbault et al. *J Perinat Med.*, 1^{er} septembre 2025



© Photographee.eu/Adobe Stock

Alcool et mémoire ne font pas bon ménage

Fréquente chez les adolescents et les jeunes adultes, l'alcoolisation massive et rapide, connue sous le nom de *binge drinking*, a des effets néfastes sur les mécanismes de la mémoire. Les travaux d'**Olivier Pierrefiche** à Amiens ont montré pour la première fois, sur un modèle animal de jeune rat, que c'est la fréquence de ces ivresses qui est la plus délétère sur les neurones, avec



© Ph Real/Adobe Stock

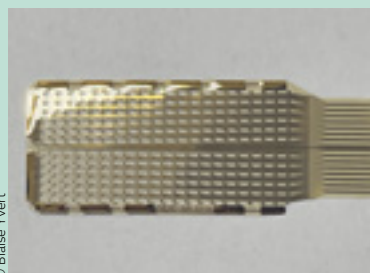
des effets sur l'hippocampe, une structure du cerveau notamment impliquée dans la mémoire. Ces effets sont sélectifs et se révèlent réversibles après administration de

minocycline, un antibiotique aux propriétés anti-inflammatoires, mettant en évidence une réponse de type neuro-inflammatoire qui explique en partie les altérations de mémoire. Ces résultats inédits ouvrent donc la voie à une meilleure compréhension des dysfonctionnements cognitifs occasionnés par l'excès d'alcool et à une stratégie thérapeutique pour les limiter chez les adeptes du *binge drinking*. **A. F.**

Olivier Pierrefiche : unité 1247 Inserm/ Université de Picardie Jules-Verne, Groupe de recherche sur l'alcool et les pharmacodépendances

M. Debris *et al.* *Neuropharmacology*, 1^{er} avril 2026

PARALYSIE Un implant qui fait parler ?



© Blaise Yvert

Sélectionné par le programme Impact santé, le projet France Brain Implant, porté par Blaise Yvert, directeur de recherche Inserm à Grenoble, est triplement ambitieux. Technologiquement, il vise à

mettre au point un nouveau type d'implant cérébral, doté de nombreuses électrodes (grâce à une électronique intégrée) pour enregistrer finement le cerveau et d'une longue durée de vie (grâce à des matériaux plus durables). Ce projet collaboratif* porte aussi des enjeux de souveraineté alors que les États-Unis et la Chine investissent massivement dans les neurotechnologies. Médicalement, l'objectif est de restituer des fonctions dans le cas de paralysies sévères. Blaise Yvert cherche notamment à redonner la parole à des patients qui souffrent de *locked-in syndrome*, une paralysie de la commande buccale. **A. F.**

Blaise Yvert : unité 1216 Inserm/ Université Grenoble-Alpes, Grenoble Institut des neurosciences

*Projet en partenariat avec l'Inserm, ESIEE Paris, Mines Saint-Étienne et TIMA

Salles de sport : alerte pollution !



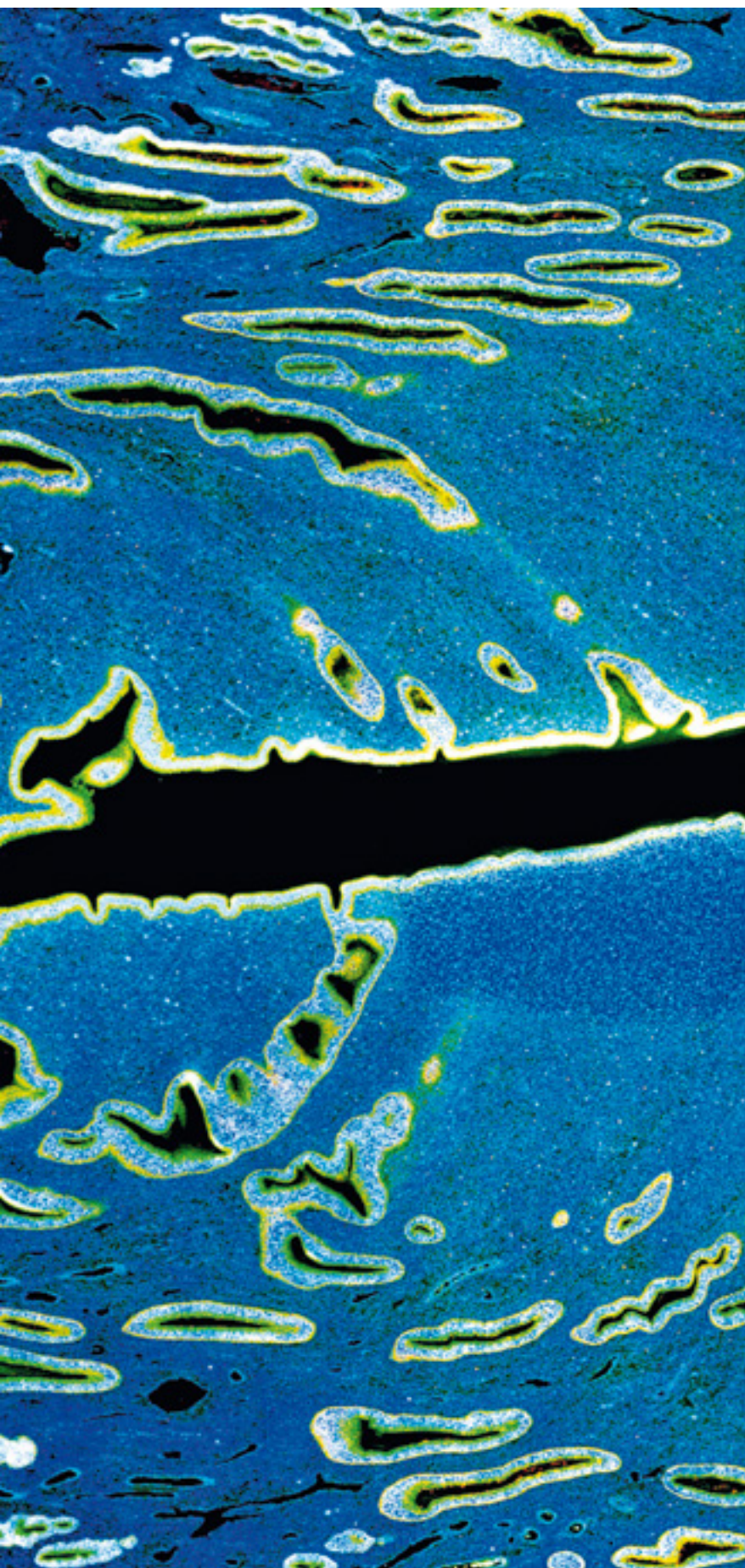
© Dasha Petrenko/Adobe Stock

Le sport, c'est bon pour la santé ! Mais l'air des salles de sport ne l'est pas vraiment... Peu étudiée, la qualité de l'air intérieur dans les lieux de pratique sportive est pourtant préoccupante, la température et la transpiration augmentant de plus les risques liés à l'exposition de contaminants chimiques ou biologiques. C'est l'enjeu du projet QAI-Sport, dont l'équipe de **Barbara Le Bot** à Rennes est partenaire et qui a mesuré la qualité de l'air dans dix salles de sport (fitness, dojo, danse...). Les résultats révèlent notamment la présence de composés volatils et semi-volatils dont certains toxiques et en quantité supérieure aux recommandations officielles. Une évaluation de l'exposition et des risques pour la santé des sportifs et enfants qui pratiquent dans ces salles semble donc nécessaire. **A. F.**

Barbara Le Bot : unité 1085 Inserm/EHESP/Université de Rennes 1, Institut de recherche en santé, environnement et travail

A. Seid *et al.* *Sci Total Environ.*, 10 février 2026

FOCUS SUR L'UTÉRUS



Ces petits îlots fluorescents flottant au milieu d'un océan obscur donnent une impression d'immensité qui contraste avec la minuscule taille de ce que l'on observe en réalité sur cette image. En effet, elle nous dévoile la constitution cellulaire qu'abrite l'utérus, en l'occurrence, celui du macaque crabier. Tous les mammifères ont un utérus, dans lequel l'embryon, qui deviendra fœtus, se développe au cours de la gestation. Sa composition cellulaire obéit à un cycle hormonal, qui peut être très court, quatre jours chez la souris, ou plus long : environ vingt-huit jours chez la femme. L'équipe de **Camille Berthelot**, directrice de recherche Inserm à l'Institut Pasteur à Paris, a bâti un projet destiné à mieux comprendre la trajectoire évolutive de la muqueuse utérine chez les mammifères, la couche de tissu appelée « endomètre ». « *Il y a beaucoup de changements dans la façon dont la muqueuse se prépare à l'implantation de l'embryon, ainsi que dans la façon dont elle va se régénérer. Chez certaines espèces, elle se détache au cours de la menstruation, mais ce trait évolutif n'est présent que chez peu de mammifères* », explique-t-elle. En effet, tous les primates n'ont pas de menstruations, l'endomètre n'est pas forcément évacué en fin de cycle, de même que l'embryon ne s'implante pas toujours de la même manière dans le tissu maternel. Au début de leur projet, les scientifiques ont prélevé un échantillon de tissu utérin de macaque, afin d'observer sa structure en microscopie fluorescente. Le tissu se divise en plusieurs parties. En bleu nuit sont représentés à la fois le muscle utérin (autour de la zone fluorescente) et les cellules stromales, la « charpente » de la muqueuse utérine. Le grand tube noir horizontal, tout à droite, est (paradoxalement) une vue de la « lumière de l'utérus », c'est-à-dire l'ouverture entre les parois. Les autres morceaux sombres sont des glandes, entourées par les cellules épithéliales, qui tapissent la paroi interne de l'endomètre. « *Nous travaillons plus spécifiquement sur l'évolution de la réponse à la progestérone, l'hormone qui conditionne la façon dont l'embryon va s'implanter. L'image de ce tissu provient d'une collecte utilisée pour faire du séquençage ARN de six primates différents dont l'humain.* » L'équipe de Camille Berthelot a alors pu identifier les gènes exprimés dans les tissus utérins selon les différentes populations cellulaires, épithéliales et stromales. En plus de constituer des réponses à certaines questions fondamentales de biologie évolutive, ces données pourront à terme permettre d'identifier précisément les mécanismes de la menstruation et des troubles associés chez l'humain comme l'endométriose, une maladie chronique inflammatoire qui touche près de 10 % des femmes.

Flora Danan

Séquençage ARN. Analyse de la traduction des gènes en protéines et de leur activité au sein de la cellule.

Camille Berthelot : unité 1351 Inserm/CNRS/Institut Pasteur, Génomique fonctionnelle comparative

DES SIGNAUX « CACHÉS » DANS LES GÈNES



© Jezper/Adobe Stock

Selon une récente étude menée par des chercheurs marseillais de l'Inserm, de nombreux gènes font plus que coder pour des protéines : ils renferment un autre type d'instructions, resté longtemps insoupçonné. Cette découverte appelle à une deuxième lecture des mutations génétiques. Notamment celles jugées « silencieuses ».

P

endant longtemps, les généticiens ont pensé que l'ADN était constitué de deux types d'éléments bien distincts : l'ADN codant, qui renferme la recette de fabrication des protéines ; et l'ADN non codant. Or voilà, la frontière entre ces deux types d'ADN ne serait pas si nette... C'est ce que révèle une récente étude dirigée par **Benoît Ballester**, bioinformaticien en collaboration avec **Salvatore Spicuglia**, généticien, à Marseille. « Nos travaux montrent que des milliers

Benoît Ballester, Salvatore Spicuglia : unité 1090 Inserm/ Aix-Marseille Université, Théories et approches de la complexité génomique

ARN messenger. Image miroir de l'ADN, transitoire et constituée d'un seul brin, qui permet la synthèse d'une protéine

de segments codants peuvent remplir une seconde fonction... laquelle est classiquement réservée à l'ADN non codant », développe Benoît Ballester. De quoi revoir complètement notre compréhension du génome !

Une régulation cruciale

Pour comprendre, précisons que l'ADN codant correspond aux exons. Il s'agit là de segments particuliers des gènes, qui codent pour les protéines ❶. Quant à l'ADN non codant, autrefois qualifié d'ADN « poubelle », ce qui suggèrerait – à tort – qu'il est inutile, il inclut notamment des régions régulatrices. Ces zones sont cruciales pour le bon fonctionnement du génome : elles contrôlent l'expression des gènes, qu'elles peuvent « éteindre » ou « allumer », comme des interrupteurs. Concrètement, « les séquences régulatrices sont des sites d'ancrage pour des protéines régulatrices. Lesquelles permettent la fabrication des **ARN messagers** utilisés pour la synthèse des protéines », précise Benoît Ballester ❷.

Eh bien, pour revenir à sa récente étude, elle montre que des milliers de ces séquences régulatrices se cachent... dans des exons, là où on ne les attendait pas ! Si les chercheurs ont pu faire cette découverte, c'est grâce à leur expertise sur les régions régulatrices. « Depuis 2012, précise Benoît Ballester, nous développons la base de données ReMap, qui catalogue la position de toutes les régions régulatrices.

Cela, dans le génome humain, mais aussi dans celui de la souris, de la mouche du vinaigre (*drosophile*) et de la plante *Arabidopsis thaliana*, qui forme de petites fleurs blanches. » Lesquels sont les organismes « modèles » en physiologie, génétique et biologie végétale, respectivement.

En 2022, alors qu'il travaille sur ce projet, le chercheur de l'Inserm remarque que des protéines régulatrices se fixent à certaines séquences codantes ; ce qui suggère que ces exons sont également régulateurs. Il consulte alors la littérature scientifique et découvre que quelques études publiées depuis les années 1990 rapportent une observation similaire. Ainsi, dès 1997, des chercheurs américains du Burnham Institute écrivent : « La partie codante du gène *K18* [qui code pour une protéine dite kératine 18, ndlr.] possède également une fonction régulatrice. »

On l'aura compris, le concept d'ADN à la fois codant et régulateur n'est pas nouveau... En revanche, la grande force de la récente étude est qu'elle est la première à montrer que ces éléments génétiques sont en fait très nombreux – et non une exception. Et ce, chez plusieurs espèces – et non une seule. Une découverte majeure ❸.

Afin de mettre en lumière cette réalité restée longtemps insoupçonnée, les chercheurs ont notamment croisé de nombreuses informations sur la régulation des gènes, à l'échelle de tout le génome. « Issues

du **séquençage à haut débit**, ces données indiquent si les exons portent des signatures de séquences régulatrices, comme la fixation de protéines régulatrices ou une activité d'activation des gènes », détaille Benoît Ballester. Et bingo, ils ont identifié plus de 10 000 exons régulateurs chez l'humain, la drosophile et la souris, et plus de 7 000 chez *Arabidopsis thaliana* ! « Au total, ces exons représentent environ 8 % des exons codants de notre génome. Ils constituent donc une quantité non négligeable de nouveaux éléments régulateurs », souligne Benoît Ballester.

Réévaluer l'impact de certaines mutations

« Très importants, ces travaux fournissent le premier atlas qui cartographie de façon très exhaustive les régions codantes et régulatrices dans le génome

Charles Lecellier : unité 5535 CNRS/ Université de Montpellier ; unité 5506 CNRS/ Université de Montpellier

Anaïs Baudot : unité 1251 Inserm/ Aix-Marseille Université

Séquençage à haut débit. Technique qui permet de déterminer de façon rapide et simultanée l'ordre d'enchaînement des nucléotides de milliers voire de millions de fragments d'ADN donnés

de quatre espèces », relève **Charles Lecellier**, expert en séquences régulatrices à l'Institut de génétique moléculaire de Montpellier.

Cruciale pour la recherche fondamentale, cette avancée pourrait l'être tout autant pour la recherche médicale ! « Nos résultats appellent à réévaluer l'impact des mutations génétiques localisées dans les exons régulateurs ; notamment celles dites "silencieuses", qui n'affectent pas la fabrication de la protéine codée et que l'on considérait donc non pathologiques jusque-là », explique Benoît Ballester. En effet, « ces mutations pourraient impacter la deuxième fonction de ces exons, leur activité régulatrice, et ainsi induire une suractivation ou une extinction des gènes qu'ils régulent ». Or ceci pourrait entraîner des maladies, comme le cancer, lié à une prolifération anarchique de cellules, ou des maladies rares, ces pathologies qui touchent moins d'une personne

sur 2 000 et dont beaucoup pourraient avoir une cause génétique non encore élucidée (comme l'hypertension pulmonaire familiale, la maladie de Gorham-Stout...). « Les résultats de cette recherche pourraient aider à identifier de nouvelles mutations pathogènes et ainsi améliorer le diagnostic de ces maladies », analyse **Anaïs Baudot**, bioinformaticienne au Centre de génétique médicale de Marseille.

Benoît Ballester et son équipe travaillent déjà au développement d'un programme informatique destiné à aider à réévaluer l'impact des mutations silencieuses dans les exons régulateurs. Le début d'une nouvelle ère pour la recherche médicale ?

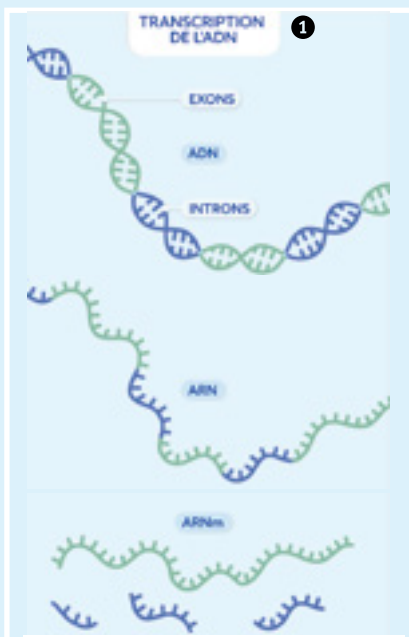
Kheira Bettayeb

J.-C. Mouren et al. *Nat Commun.*, à paraître en 2026

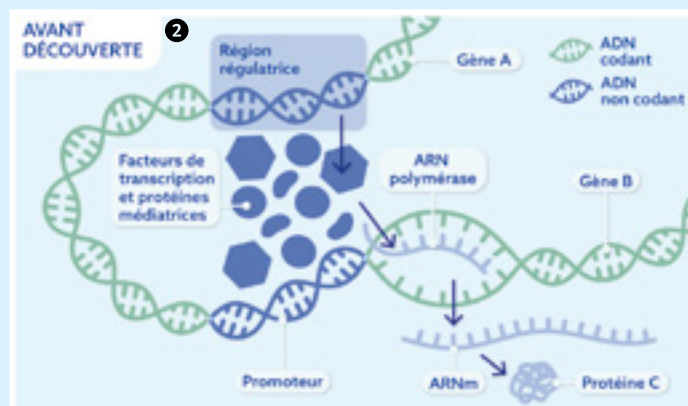
J.-C. Mouren et al. *BioRxiv.*, 1^{er} avril 2025

N. Neznanov et al. *J Biol Chem.*, 31 octobre 1997

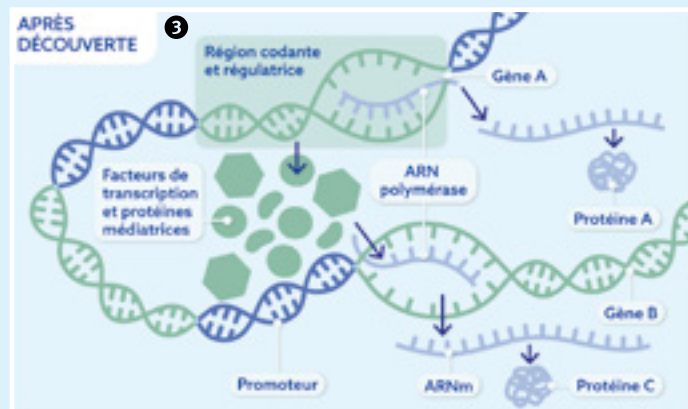
Un génome à double lecture



▲ Longtemps, les chercheurs ont pensé que les exons, les séquences codantes des gènes (en vert ici), ne portaient qu'une seule instruction : la recette de production des protéines.



◀ Longtemps aussi, ils ont cru que les séquences régulatrices, qui permettent l'activation des gènes, se trouvaient surtout dans le génome non codant.



◀ Or voilà, ces séquences peuvent aussi être dans des régions codantes. Il existerait ainsi des régions codantes et régulatrices... et donc un génome à double lecture !

COMMENT LE STRESS POURRAIT ORIENTER NOS CHOIX POLITIQUES

Élections municipales en mars 2026, présidentielles en 2027 : dans une période électorale intense en France, le chercheur Inserm Dezsó Németh analyse les mécanismes cérébraux derrière le succès des discours politiques simplistes et avance une théorie à tester.

Comment le cerveau guide nos choix politiques ? C'est la question posée par **Dezsó Németh**. L'histoire montre que crises économiques et menaces sociopolitiques favorisent polarisation et radicalisation, rendant les individus plus réceptifs aux messages intolérants. « *Si les sciences humaines ont déjà étudié ces dynamiques, le traitement cérébral de ces informations reste peu exploré* », souligne le neuroscientifique de l'Inserm au Centre de recherche en neurosciences de Lyon.

Bascule du cortex

Les recherches internationales ainsi que les propres travaux empiriques de Dezsó Németh montrent que l'exposition à un stress fait basculer le cerveau d'un système d'apprentissage à un autre. « *Le premier processus, dirigé par le but, repose sur le cortex préfrontal, situé à l'avant du cerveau. Il est sollicité lorsque l'on doit comparer des options, résoudre des problèmes complexes...* », expose le chercheur. Dans cette configuration, le cerveau privilégie un fonctionnement exploratoire, propre à accepter la complexité et à collecter

des informations complémentaires sur un sujet pour le nuancer ou comparer les options.

De l'autre côté, le processus fondé sur les habitudes est lié aux **ganglions de la base** et à certaines structures limbiques, situées au cœur du cerveau et impliquées dans le comportement et les émotions. Il s'active lors de situations répétitives ou lorsque l'on doit extraire des régularités dans un flux d'informations. Quand ce mode de fonctionnement est activé, le cerveau marche à l'économie : la priorité devient la prise de décision rapide, et non la précision. « *Ce n'est pas un défaut de raisonnement, mais une adaptation fonctionnelle* », souligne le scientifique.

Politique : une information comme une autre

Soumis à un stress, à une menace, le cerveau bascule du premier processus de traitement de l'information au second, en mode « *automatique, sans nuance* ».

Appliqué à la politique, ce modèle considère que si une personne se sent menacée par l'état de ses fi-



© Smartboy10

Ganglions de la base. Situés sous le cortex et interconnectés, ils sont impliqués dans la gestion des automatismes, du contrôle des impulsions et la formation de routines comportementales.

Dezsó Németh :
unité 1028
Inserm/CNRS/
Université Claude-
Bernard - Lyon 1

D. Németh et al.
Curr Opin Behav
Sci., juin 2024

nances, la survenue possible d'une guerre, les conditions économiques de son pays..., elle pourrait privilégier les messages et solutions simplifiés à l'extrême qui vont lui être proposés afin de répondre plus rapidement à la complexité d'une situation. La phrase « *les migrants prennent votre travail* » pourra être intégrée comme vraie, non parce qu'elle est rigoureusement examinée, mais parce qu'elle permet de clore rapidement l'incertitude. Afin de mettre à l'épreuve cette théorie, le spécialiste envisage des travaux pour examiner l'effet d'un stress induit en laboratoire à des volontaires sur leur préférence pour différents types de messages politiques. Des travaux opportuns au regard des prochaines échéances électorales. À suivre en toute sérénité ?

Julie Coquart

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE AUGMENTE LA CONSOMMATION DE SUCRE

L'Organisation mondiale de la santé alerte : la consommation de boissons sucrées chez les adultes a augmenté de 16 % dans le monde entre 1990 et 2018. Avec la hausse des températures, ce phénomène devrait se renforcer, surtout chez les populations défavorisées, selon une nouvelle étude sino-américaine. Comment l'expliquer ? Et comment endiguer la surconsommation de sucres qui accentue les risques d'obésité ? Réponses avec Roland Govers, chercheur Inserm à Marseille.



Que montre cette étude internationale ?

Roland Govers : Menée entre 2004 et 2019 auprès de 40 000 à 60 000 ménages états-uniens, elle met en évidence une association entre hausse des températures et surconsommation de sucres chez les populations à faibles revenus et/ou peu diplômées. L'augmentation est exponentielle, surtout entre 24 et 30 °C, via la consommation des boissons sucrées réfrigérées. D'ici 2095, avec +5 °C en moyenne, ces populations pourraient consommer 3 grammes de sucre supplémentaires par jour, soit 10 % au-dessus des recommandations de l'American Heart Association. Cette tendance n'est pas observée chez les ménages les plus aisés. Coût des produits frais,

absence de climatisation, travail en extérieur et manque d'informations expliquent ces écarts.

Pour lutter contre le surpoids et l'obésité et encourager les fabricants à diminuer la teneur en sucre de leurs produits, la taxe soda a été mise en place. Quels sont les impacts de cette mesure ?

R. G. : En France, la taxe sur les boissons sucrées instaurée en 2012 et renforcée à plusieurs reprises est actuellement appliquée selon trois taux de sucre croissants. À ce jour, 120 pays appliquent une taxe sur ces boissons. Elle a contribué à réduire leur consommation ainsi que l'obésité et ses maladies associées (métaboliques et cardiovasculaires,

certains cancers et caries). Cependant, certaines industries ont remplacé le sucre par des édulcorants, y compris dans les boissons non *light*. Leurs effets sur la santé à long terme restent incertains et d'autres études doivent être menées.

Comment se prémunir face à ce risque de surconsommation de sucre ?

R. G. : Plusieurs pistes existent : renforcer la communication auprès de la population (savoir, par exemple, qu'une canette de boisson sucrée de 33 cl couvre les apports journaliers en sucre), étendre la taxation sur le **sucres ajoutés** à un plus grand nombre de produits alimentaires, mieux indiquer sur les emballages la présence d'édulcorants et aussi renforcer l'accès à l'eau potable fraîche, gratuite ou à faible coût. Récemment, la proposition de loi Génération sans sucre vise à réduire l'exposition des enfants aux sucres ajoutés ainsi qu'aux aliments ultra-transformés. Le texte prévoit notamment des mesures de restriction de la publicité, à l'image de ce qui existe déjà au Royaume-Uni, ainsi que l'interdiction de l'ajout de sucres dans les préparations destinées aux nourrissons. La question de la réduction des sucres ajoutés s'inscrit dans un contexte complexifié par des problématiques liées aux inégalités sociales et aux effets du changement climatique, et constitue un véritable enjeu de santé publique.

Propos recueillis par Julie Paysant

Sucres ajoutés.

Sucres et sirops ajoutés aux aliments et aux boissons pendant leur transformation, préparation ou sur la table des foyers pour augmenter le goût sucré, incluant les ingrédients comme le sucrose (sucre de table), le glucose, le fructose, le miel et des concentrés de jus de fruits

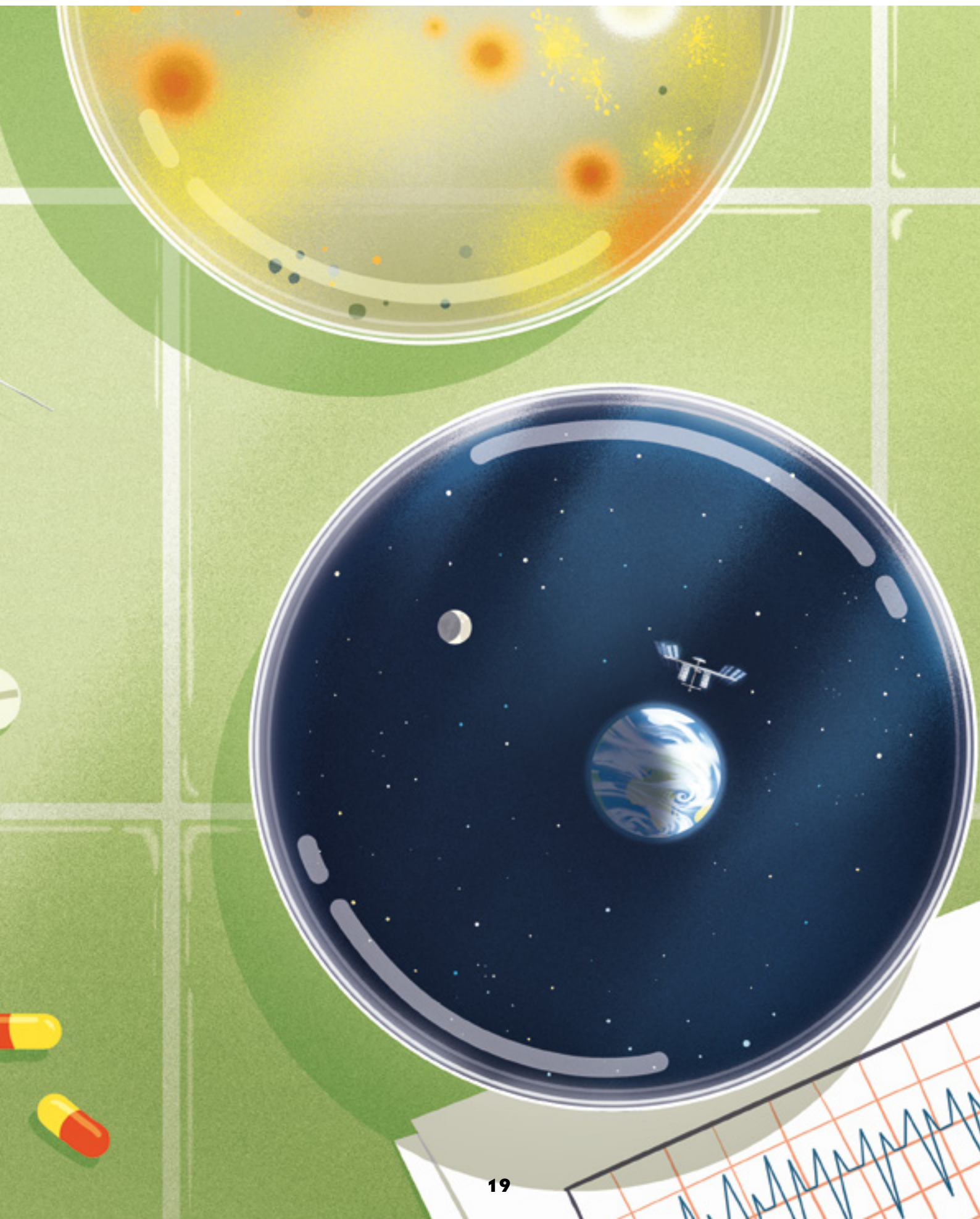
Roland Govers : unité 1263 Inserm/INRAE/ Université Aix-Marseille, Centre de recherche en cardiovasculaire et nutrition (C2VN)

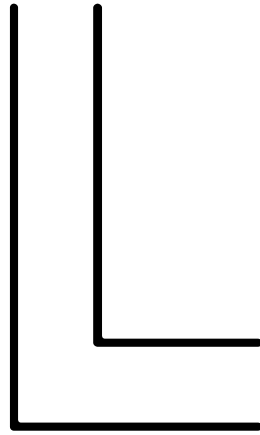
P. He et al. *Nat Clim Chang.*, septembre 2025

Par Simon Pierrefixe

L'ESPACE, NOUVEAU LABORATOIRE DE SANTÉ

Une nouvelle ère de l'exploration spatiale se profile. La NASA compte en effet envoyer des astronautes sur la Lune d'ici deux ans. Une première depuis 1972. Certaines nations et quelques multimilliardaires annoncent même une prochaine présence permanente sur la Lune, voire un voyage habité vers Mars. La recherche en médecine spatiale s'active donc pour répondre aux défis que devront affronter les astronautes lors de telles missions. Et bonne nouvelle ! Les innovations médicales et technologiques qui résultent de l'exploration spatiale contribuent à améliorer notre santé à toutes et tous sur Terre.





© NASA/Bill Ingalls

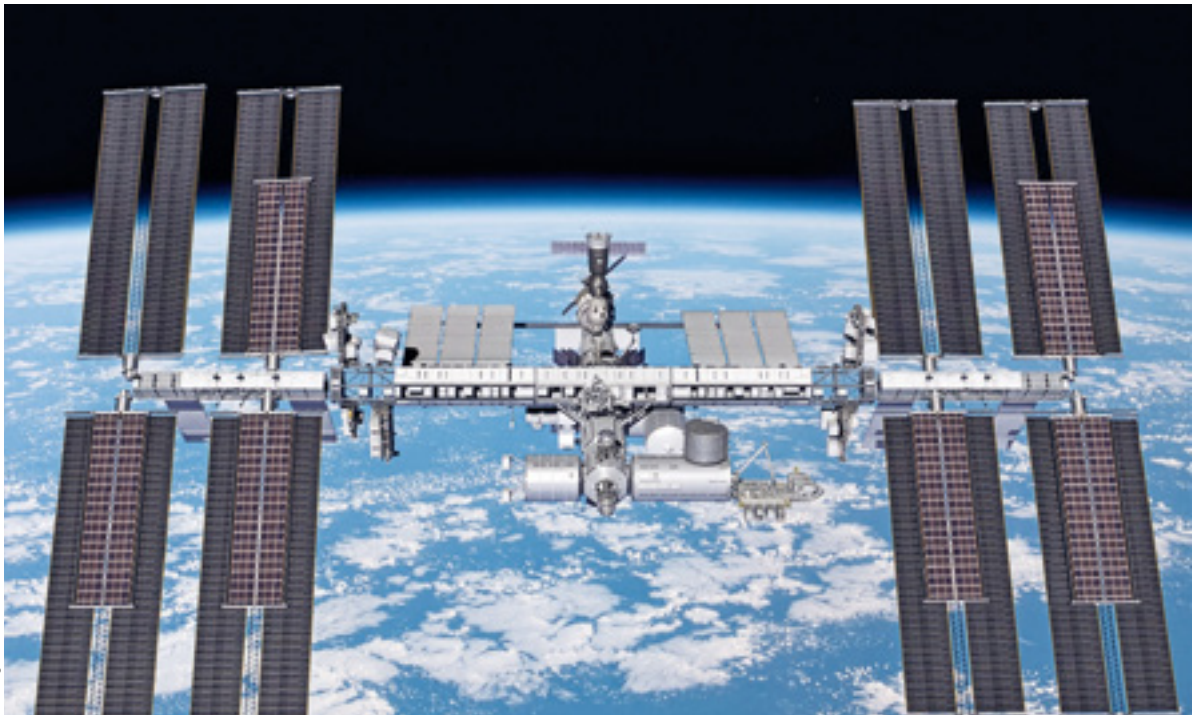
▲ L'astronaute Américain Michael Fincke a été rapatrié pour raison sanitaire le 15 janvier 2026, après 167 jours passés à bord de l'ISS.

Le 14 janvier 2026, l'équipage 11 de la Station spatiale internationale, l'ISS, est évacué. La raison : un des astronautes, l'Américain Michael Fincke, présente un problème médical sérieux. Ce rapatriement sanitaire est une première en 25 ans d'opération de cette station orbitale. La NASA, qui invoque la confidentialité des dossiers médicaux des astronautes, n'a guère donné de précisions sur cet incident. James Polk, médecin-chef de l'agence spatiale américaine, a tout de même indiqué que ce problème médical n'est pas dû à une blessure mais qu'il serait lié à la **microgravité**. La pesanteur n'a quasiment plus d'effet dans l'ISS, qui effectue une

chute perpétuelle autour de la Terre à près de 28 000 km/h. À bord, environ 400 kilomètres au-dessus de nos têtes, les astronautes ne ressentent plus leur poids dû à la gravité terrestre. Et, comme tout ce que contient l'ISS, ils « flottent ». Nous avons pu le remarquer quand la Française Sophie Adenot a rejoint la station orbitale avec trois autres astronautes le samedi

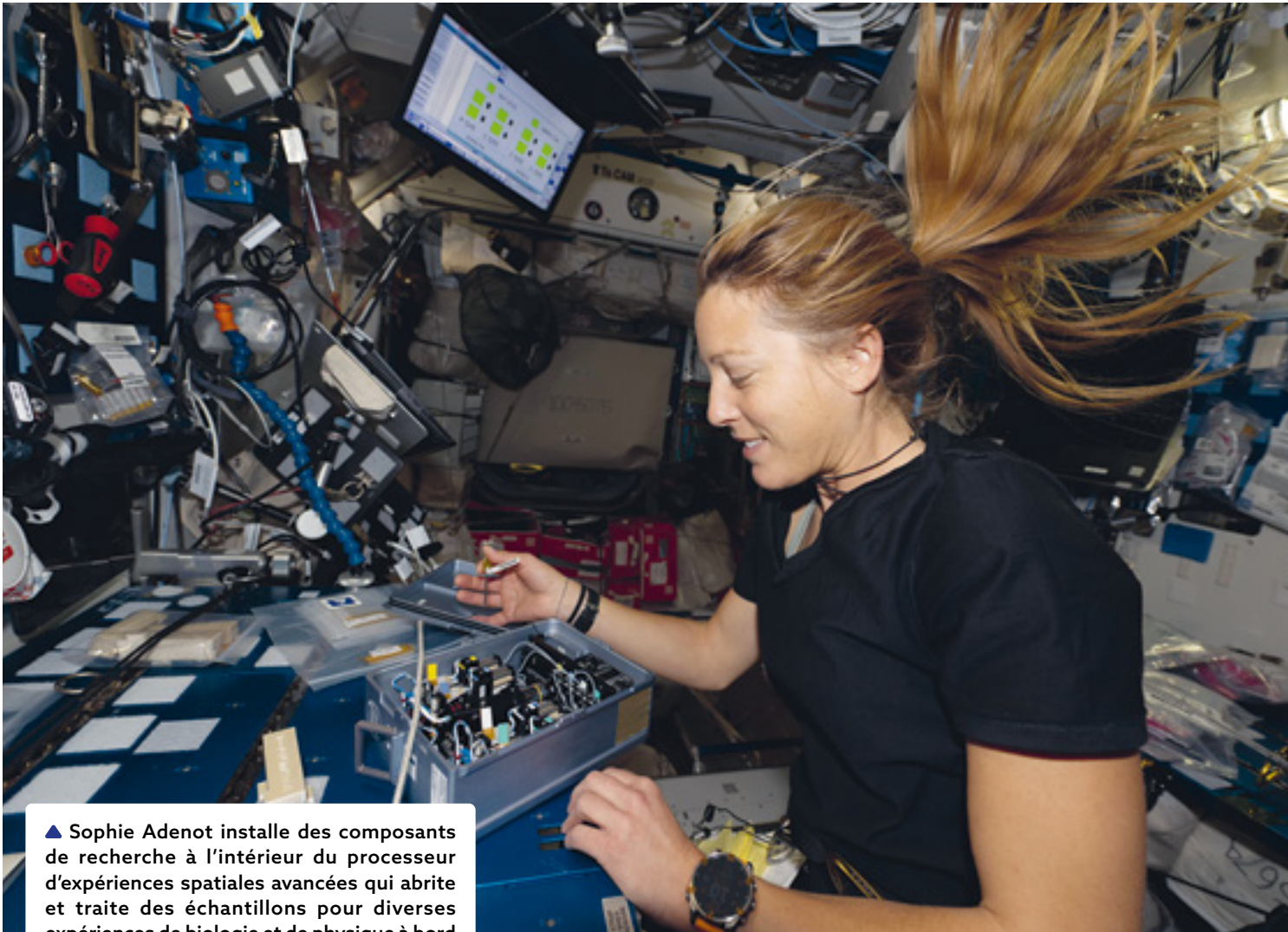
Microgravité.

Condition dans laquelle la pesanteur est très faible



© NASA/Boeing

▲ L'ISS est occupée en permanence depuis 2000 par un équipage international qui se consacre à la recherche scientifique dans l'environnement spatial.



▲ Sophie Adenot installe des composants de recherche à l'intérieur du processeur d'expériences spatiales avancées qui abrite et traite des échantillons pour diverses expériences de biologie et de physique à bord de l'ISS.

© NASA/Jessica Meir

14 février 2026. Ces longs cheveux ondulaient d'ailleurs autour de son visage rayonnant. Mais si l'apesanteur semble plaisante aux premiers abords, elle a aussi de drôles d'effets sur notre organisme. « *Notre corps est intimement adapté à la gravité* », explique **Marc-Antoine Custaud**, professeur de physiologie et médecin néphrologue à l'université et au CHU d'Angers. « *Son absence retentit sur toutes les fonctions physiologiques de notre organisme : le système cardiovasculaire, les muscles et le squelette, le système neurosensoriel, l'immunité ou encore notre horloge interne.* » Avec, évidemment, de nombreuses conséquences sur son bon fonctionnement.

Un environnement étrange(r)

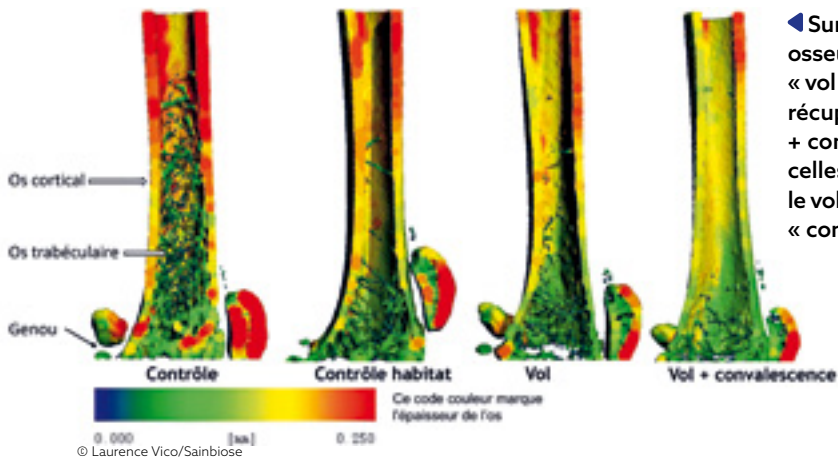
Un des premiers effets de la microgravité sur notre corps concerne les liquides corporels tels que le sang. Ces derniers ne sont plus soumis à la pesanteur et se répartissent de façon homogène dans le corps. Cela

« Si l'apesanteur semble plaisante aux premiers abords, elle a aussi de drôles d'effets sur notre organisme »

implique un transfert de ces liquides des membres inférieurs vers le haut du corps et la tête. Le sang ne « tombe » plus dans les jambes. En conséquence, le système cardiovasculaire n'a plus à le faire remonter et « *le cœur travaille moins, les vaisseaux se mettent au repos* », poursuit Marc-Antoine Custaud. Lors de séjours prolongés, la taille du cœur et des grosses artères diminue. « *Le système cardiovasculaire n'est pas assez sollicité dans l'environnement spatial et il devient moins performant* », ajoute le chercheur. Ce manque de sollicitation phy-

Marc-Antoine Custaud : unité 1083 Inserm/ CNRS/Université d'Angers, Physiopathologie mitochondriale et cardiovasculaire (Mitovasc)

Dossier



▶ Sur cette reconstruction 3D de fémurs, on observe une perte osseuse chez des souris envoyées un mois dans l'espace (groupe « vol »), encore plus marquée chez celles qui ont bénéficié d'une récupération de 8 jours après leur retour sur Terre (groupe « vol + convalescence »), sachant qu'une perte est déjà visible chez celles restées sur Terre mais dans le même module utilisé pour le vol spatial (groupe « contrôle habitat »), par rapport aux souris « contrôle », logées dans des cages d'animalerie standard.

sique entraîne aussi une perte osseuse. « *Le squelette enlève de l'os là où il n'y en a plus besoin, surtout sur les os qui nous permettent de lutter contre la gravité : ceux des membres inférieurs et de la colonne vertébrale notamment* », précise **Laurence Vico**, directrice de recherche Inserm émérite au laboratoire Sainbiose à Saint-Étienne et spécialiste des fragilités du squelette et des articulations*. Une perte osseuse qui peut atteindre 1 % par mois. Et « *dès les premiers jours dans l'espace, les muscles perdent en*

M. Gerbaix M
et al. *Sci Rep.*,
1^{er} juin 2017

Laurence Vico :
unité 1059 Inserm/
Université Jean-
Monnet/Mines
Saint-Étienne,
Santé, ingénierie,
biologie Saint-
Étienne (Sainbiose)

masse et en force, ce qui, à terme, peut impacter de façon négative les performances des astronautes », poursuit **Claire Laurens**, maîtresse de conférence en physiologie à l'université de Toulouse. Là encore, « *ce sont les muscles qui nous permettent de nous tenir debout qui sont les plus touchés, notamment ceux des jambes et du dos.* » Par exemple, le soléaire, un muscle du mollet, peut perdre jusqu'à 15 % de son volume après six mois dans l'ISS. Cette perte de masse musculaire a par ailleurs un effet délétère sur la capacité de l'organisme à produire de

*Voir *Magazine de l'Inserm*, numéro 64, « Laurence Vico. Le spatial au service du squelette » P.40-43.

▼ Campagne d'immersion sèche à la clinique du Medes à Toulouse en 2019. L'objectif est d'étudier les réactions de l'organisme à l'apesanteur et de développer des moyens préventifs pour préparer les vols spatiaux.



« Le squelette enlève de l'os là où il n'y en a plus besoin, surtout sur les os qui nous permettent de lutter contre la gravité : ceux des membres inférieurs et de la colonne vertébrale notamment »

l'énergie. « Le type de fibres qui compose les muscles évolue et ces derniers consomment de plus en plus de glucides à la place de lipides à jeun », précise Claire Laurens. Une résistance aux effets de l'insuline se met alors en place, comme chez les patients atteints de diabète de type 2. « En apesanteur, notre organisme se désadapte à la gravité, il se déconditionne », résume Marc-Antoine Custaud. Et ce déconditionnement, qui s'apparente à un vieillissement accéléré de l'organisme, s'aggrave avec la durée du séjour dans l'espace. Toutefois ces modifications physiologiques sont globalement réversibles au retour sur Terre. « Mais c'est un processus long et une partie de l'os perdu ne semble pas récupérable », souligne Laurence Vico.

Simuler l'apesanteur

Pour mieux comprendre l'impact de la microgravité sur la santé des astronautes, la recherche en médecine spatiale a développé des modèles expérimentaux mais aussi des protocoles qui permettent de simuler les effets de l'apesanteur sur l'organisme. Pour les découvrir, direction la clinique spatiale de l'Institut de médecine et physiologie spatiales, le Medes, implantée au CHU de Toulouse. « Cette structure unique en France dispose en effet des deux modèles reconnus au niveau international en médecine spatiale : l'alitement prolongé et l'immersion sèche », indique **Audrey Berthier**, directrice exécutive du Medes. Le premier de ces protocoles consiste à aliter des volontaires sains pendant de longues périodes, jusqu'à 90 jours pour certaines études. L'inactivité physique associée à l'alitement prolongé provoque en effet des symptômes similaires à ceux observés chez les astronautes : atrophie des muscles, perte osseuse, troubles métaboliques, moindre performance du système cardiovasculaire... Afin de simuler de manière encore plus fidèle l'impact de la microgravité sur l'organisme, les lits sont inclinés, la tête vers le bas, pour reproduire l'afflux de liquides corporels dans la partie supérieure du corps. Pour l'immersion sèche, les volontaires sont placés dans de grandes baignoires mais



▲ Sophie Adenot s'entraîne sur CEVIS, le vélo utilisé à bord de l'ISS. Tous les astronautes suivent un programme personnalisé, d'une à deux heures quotidiennes. En micropesanteur, pas besoin de guidon ni de selle !

Claire Laurens : unité 1297 Inserm/ Université de Toulouse, Institut des maladies métaboliques et cardiovasculaires (I2MC)

Audrey Berthier : Institut de médecine et physiologie spatiales (Medes)

restent isolés de l'eau par une toile imperméable ; ils flottent sans aucun appui comme en microgravité. « Ces protocoles expérimentaux permettent de faire plus de tests et d'expériences que dans l'ISS et cela sur un plus grand nombre de volontaires, remarque Claire Laurens. En outre, il est possible de suivre en continu leurs adaptations physiologiques de façon plus invasive à l'aide de prélèvements sanguins ou de biopsies de tissus. »

Ces études cliniques aident ainsi à caractériser l'adaptation du corps humain à la microgravité mais sont aussi très utiles pour tester de nouvelles contre-mesures. Dans le jargon spatial, il s'agit de mesures de prévention destinées à atténuer les effets du déconditionnement associé à l'environnement spatial afin de maintenir la santé et les performances des astronautes

sur le long terme. La plus importante consiste à pratiquer des activités physiques de façon quotidienne pour limiter la fonte musculaire et la fragilité osseuse tout en maintenant une certaine fonction cardiovasculaire.

« L'impact des rayonnements cosmiques lors de missions de longue durée inquiète les agences spatiales »

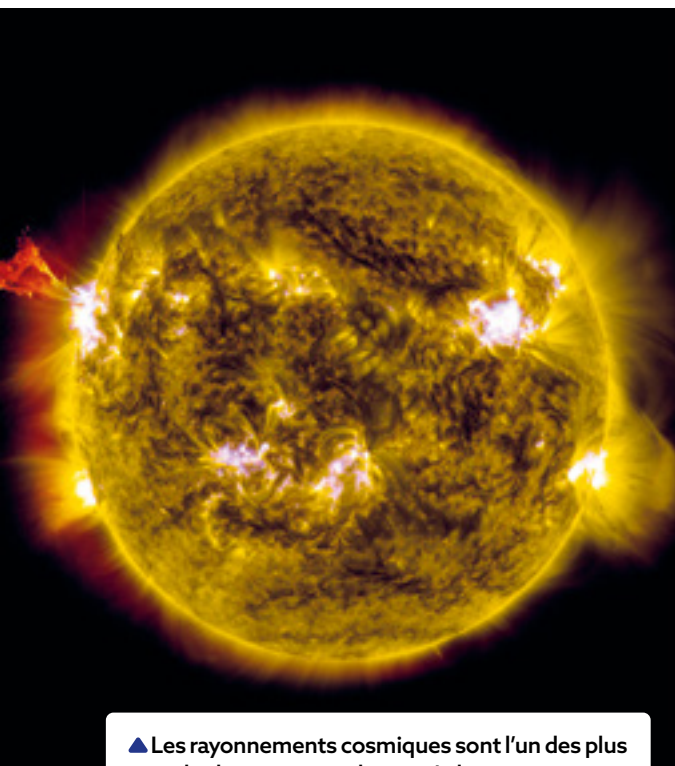
À bord de l'ISS, les astronautes effectuent ainsi deux heures d'exercices physiques par jour, notamment du vélo, de la course à pied ou encore des squats à l'aide de machines spécialement conçues pour fonctionner en microgravité. « Mais cela reste insuffisant pour reproduire l'équivalent d'un effort sur Terre, les impacts en particulier sont moindres en apesanteur », remarque Laurence Vico. La nutrition est aussi essentielle. « Le régime des astronautes doit être adapté à l'espace et à leurs besoins particuliers, ajoute Claire Laurens. Un exercice physique sans les apports suffisants peut en effet aggraver la fonte musculaire. » Ce qui peut représenter un défi pour les astro-

nautes, qui perdent l'appétit et une partie de leur goût dans l'espace et doivent souvent se contenter de nourritures déshydratées. D'autres contre-mesures existent, comme les caissons LBNP, pour *lower body negative pressure*, qui limitent notamment le déconditionnement cardiovasculaire. Ces caissons sont des sortes de pantalons qui appliquent une dépression au niveau des membres inférieurs permettant de déplacer les fluides corporels vers les parties basses du corps. Ces différentes contre-mesures continuent d'être testées – ensemble ou séparément en variant les protocoles – pour tenter d'améliorer leur efficacité. Les dernières expérimentations suggèrent que les exercices physiques intermittents et d'intensité plus forte sont à privilégier pour limiter les effets associés à la microgravité.

Outre l'absence de gravité, l'environnement spatial est aussi particulier en raison de l'exposition au rayonnement cosmique émis par le Soleil et les étoiles. Sur la Terre, nous en sommes en grande partie protégés par le champ magnétique terrestre et dans une moindre mesure par l'atmosphère. Mais plus nous prenons de

▼ Oleg Kotov, commandant de l'Expédition 38, lors d'un exercice de pression négative sur le bas du corps pour simuler l'effet de la gravité sur la circulation sanguine.





▲ Les rayonnements cosmiques sont l'un des plus grands dangers pour la santé des astronautes. Ici, une éruption solaire de moyenne intensité survenue en 2013.

© NASA/Goddard/SDO

l'altitude, plus ce rayonnement, composé de particules énergétiques et de rayons gamma, s'intensifie. Or, « ces radiations peuvent, en fonction de leur nature et de leur énergie, affecter les organes en profondeur – le cœur, les os – ou alors toucher les tissus en surface comme la peau ou les yeux », précise **Nicolas Foray**, radiobiologiste et directeur de recherche Inserm à Lyon. Ces rayonnements sont susceptibles d'accélérer le vieillissement des tissus, voire d'induire des cancers à la suite de dommages sur l'ADN des cellules. Ceci est d'autant plus vrai si l'irradiation est importante et intense comme lors d'éruptions solaires. L'activité du Soleil est bien sûr surveillée pour éviter des excès de dose aux astronautes. Aucun cas de cancers attribué aux radiations n'a d'ailleurs été rapporté chez ces voyageurs de l'espace. « Seul le vieillissement cellulaire semble probable pour quelques mois de mission », ajoute le chercheur. Mais la dose de radiation reçue est proportionnelle au temps d'exposition. L'impact des rayonnements cosmiques lors de missions de longue durée inquiète donc les agences spatiales. Pour l'étudier, l'équipe de Nicolas

Foray expose des cultures cellulaires à des rayonnements émis par des sources radioactives ou par des accélérateurs de particules spécifiques. Des échantillons sont aussi envoyés dans la stratosphère, entre 10 et 50 kilomètres d'altitude, à l'aide de ballons. « Cela nous permet d'analyser l'effet des radiations sur les mécanismes cellulaires, notamment la réparation de l'ADN, et de proposer des contre-mesures pharmacologiques », précise le radiobiologiste. Son équipe évalue d'ailleurs une classe de molécules qui pourrait offrir une radioprotection supérieure à celles des traitements actuels, essentiellement des antioxydants. Ces scientifiques s'attachent aussi à tester différents matériaux afin de proposer des blindages plus efficaces pour réduire l'impact des rayonnements sur l'organisme des astronautes.

Confinés dans l'infinité de l'espace

Voyager dans l'espace expose également les astronautes à des conditions de vie particulièrement contraignantes. « Confinés dans leurs engins spatiaux, ils doivent partager un espace exigü, bruyant et inconfortable. Les contacts sociaux avec leurs proches sont limités et ils manquent d'intimité. Les activités peuvent devenir monotones, tout comme les repas. Sans oublier le stress lié au danger de la mission », rappelle **Benoît Bolmont**, professeur en neurosciences comportementales à l'Université de Lorraine, à Metz. L'impact psychologique peut se révéler difficile à gérer et mettre leurs émotions à rude épreuve. « Ces conditions de vie inhabituelles peuvent déclencher de l'irritabilité, de l'anxiété, voire des symptômes dépressifs, confirme le chercheur. Or, l'irritabilité nuit à

Nicolas Foray :
unité 1296
Inserm/Ministère
des Armées,
Radiations :
défense, santé et
environnement

Benoît Bolmont :
Université
de Lorraine,
Laboratoire lorrain
de psychologie et
neurosciences de
la dynamique des
comportements
(2LPN)



© CNES/PRODIGE/MA/GABORIAUD Romain, 2024

► Depuis soixante ans, le CNES conçoit, développe et opère des ballons stratosphériques, de véritables laboratoires au-dessus de nos têtes.

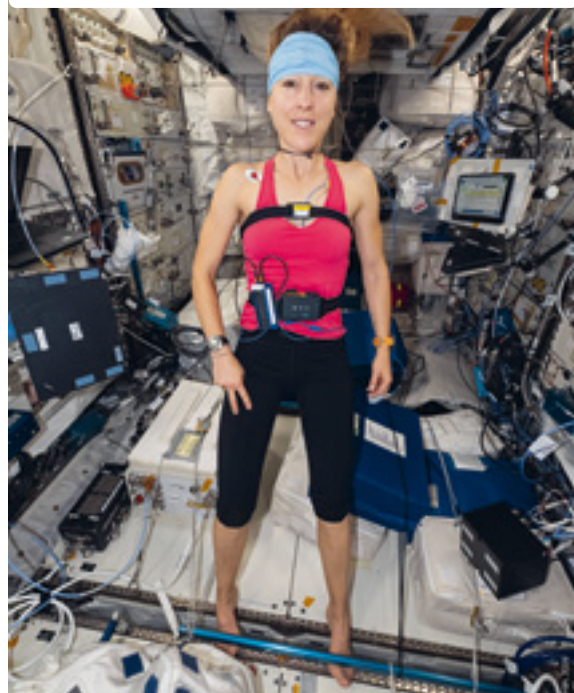


▲ Des volontaires préparent un électro-encéphalogramme (EEG) pour mesurer l'activité électrique de leur cerveau dans le cadre du projet Mars500. Ce programme russe mené en 2010 simulait sur Terre les conditions d'une mission aller et retour vers Mars, soit 520 jours dans un espace restreint confiné.

© ESA - Mars500 crew

l'entente du groupe. Quant à l'anxiété, elle altère les inhibitions et peut pousser une personne à prendre des risques inconsidérés ou à avoir un comportement qui pourrait perturber l'équilibre du groupe. » Par ailleurs, stress et anxiété sont connus pour affaiblir le système immunitaire, provoquer des troubles du sommeil et perturber le métabolisme de l'organisme. Les conséquences du confinement lors d'un vol spatial de longue durée iraient donc bien au-delà du bien-être et du comportement des astronautes : leur santé et leurs performances seraient elles aussi affectées. « *Ce qui peut avoir des répercussions sur le bon déroulement des missions* », ajoute le neuroscientifique. Afin de mieux comprendre l'évolution de l'état émotionnel lors de missions de longue durée, des situations simulées expérimentales sont réalisées avec de petits groupes d'individus. Par exemple, le programme Mars 500, réalisé à l'Institut des problèmes biomédicaux de Moscou entre 2007 et 2011, a reproduit les conditions de vie d'une mission martienne, la microgravité en moins, dans des caissons fermés qui imitent des modules de vaisseaux spatiaux. La dernière simulation a vu six volontaires sélectionnés y réaliser les mêmes tâches que des astronautes en route vers Mars pendant 520 jours ! Ce type d'expérimentation permet d'identifier des mécanismes d'adaptation psychologique, comme la mise en place de routines avec des objectifs qui ont du sens, mais aussi d'évaluer les différents paramètres inhérents à la constitution d'un groupe d'astronautes.

▼ Sophie Adenot se prête à l'expérience PhysioTool à bord de l'ISS, le 13 mars 2026. Ce dispositif intègre des capteurs synchronisés évaluant divers paramètres physiologiques pour assurer à la fois la prise de mesures scientifiques et contribuer au suivi médical de l'astronaute.



© ESA/NASA/2026

Thrombose.

Formation d'un caillot de sang au niveau d'une veine ou d'une artère, pouvant créer une phlébite quand il y a obstruction d'une veine, ou une embolie quand celui-ci migre vers un autre organe

► Sophie Adenot en visite au CNES à Toulouse, en novembre 2025. Les chercheurs lui présentent EchoFinder, un dispositif qui permet aux astronautes de réaliser des échographies en totale autonomie grâce à un système combinant réalité augmentée et intelligence artificielle, sans expertise médicale préalable ni guidage depuis la Terre.

L'ensemble de ces facteurs environnementaux associés aux vols spatiaux – apesanteur, rayonnement, confinement – ont aussi un impact négatif sur notre système immunitaire, qui, affaibli, est moins efficace pour protéger les astronautes des pathogènes.

Soigner dans l'espace

Les données sont rares compte tenu de la confidentialité médicale, mais une étude sur 46 astronautes de la NASA ayant séjourné au moins six mois dans l'ISS apporte quelques éléments épidémiologiques. Environ la moitié d'entre eux ont présenté des problèmes de santé relativement bénins : irritations de la peau, boutons de fièvre, rhumes ou encore infections urinaires. Mais ceux-ci ont duré, se sont répétés ou n'ont pas réagi aux traitements. Plus inquiétant : une **thrombose** veineuse a été signalée en 2019. Un caillot de sang s'était formé dans une veine jugulaire d'un astronaute qui a nécessité une prise en charge médicamenteuse jusqu'à son retour sur Terre. Cet événement souligne l'importance de pouvoir suivre l'état de santé des astronautes en vol pour assurer leur propre sécurité et le bon déroulement des missions. C'est d'ailleurs une priorité pour les agences spatiales. Depuis les premiers vols habités, celles-ci se sont attelées au développement de nombreux dispositifs capables de mesurer divers paramètres physiologiques des astronautes mais aussi d'outils d'aide au diagnostic et aux soins. L'astronaute française Sophie Adenot testera d'ailleurs dans la station orbitale de nouveaux appareils développés par le Centre d'aide au développement des activités en microapesanteur et des opérations spatiales, le Cadmos, associé au Centre national d'études spatiales (CNES). C'est le cas par exemple de PhysioTool, un dispositif qui permet de recueillir des données vitales, notamment cardiovasculaires, et d'évaluer la charge cognitive des astronautes. Sophie Adenot va aussi manipuler le nouvel outil de guidage échographique du Cadmos appelé EchoFinder. « L'échographie joue un rôle important dans l'exploration spatiale, souligne Amir Hodzic, cardiologue au CHU de Caen. Cette méthode d'imagerie a d'ailleurs permis de détecter et de surveiller la thrombose veineuse observée en 2019. Elle a aussi été utilisée pour



© CNES/OULLIER Alexandre, 2025

« En temps de trajet, les astronautes de l'ISS sont plus proches d'un hôpital qu'un marin du Vendée Globe »

Amir Hodzic : unité 1075 Inserm/ Université de Caen Normandie, Mobilités : vieillissement, pathologie, santé (Comete)

Séamus Thierry : groupe hospitalier Bretagne Sud

suivre le problème de santé qui a affecté l'Américain Michael Fincke en début d'année. En effet, « c'est une méthode non invasive, peu coûteuse et assez simple à mettre en œuvre pour établir des diagnostics sur le fonctionnement des organes, ajoute le chercheur. Mais elle nécessite de l'expérience pour obtenir des images interprétables par un expert. EchoFinder remédie à cette limite en exploitant les nouvelles technologies comme la réalité augmentée et l'intelligence artificielle dans un logiciel ludique. Celui-ci permet à l'astronaute d'obtenir des acquisitions échographiques sur différents organes d'intérêt avec une qualité proche de celle d'un expert et ceci de façon autonome et sans aucune formation médicale. » Et ainsi permettre de détecter un problème de santé inattendu.

Mais que faire si cet événement médical ne peut être pris en charge ? Pour l'ISS, un rapatriement sanitaire est réalisable. « En temps de trajet, les astronautes de l'ISS sont plus proches d'un hôpital qu'un marin du Vendée Globe, fait remarquer Séamus Thierry, médecin anesthésiste au groupe hospitalier de Bretagne Sud à Lorient. Sur la Lune aussi, il sera encore possible de considérer un ravitaillement ou une évacuation en 72 heures si toutes les conditions sont réunies, estime le chercheur, qui travaille à adapter des protocoles d'urgence médicale à l'environnement spatial. Séamus Thierry collabore ainsi au projet Lunar Block, qui évalue la capacité de réaliser une anesthésie dans la pesanteur lunaire, six fois moindre que sur Terre. L'idée est de limiter les douleurs associées à une fracture avant d'envisager un rapatriement sanitaire.

B. Crucian et al. *Int J Gen Med.*, 3 novembre 2016

S. M. Auñón-Chancellor et al. *N Engl J Med.*, 2 janvier 2020

« Mais pour un voyage vers Mars, une évacuation n'est plus envisageable. Il faut absolument une capacité de soins autonomes sur site, à l'image de celles qui équipent les bases en Antarctique, pour être capable de réaliser des actes chirurgicaux simples. » Sans oublier des personnes capables de réaliser ces actes et des médicaments efficaces. Or, de nombreuses questions restent ouvertes sur les traitements médicamenteux dans l'environnement spatial. « Nous ignorons comment les médicaments sont assimilés par l'organisme dans l'espace et comment ils agissent sur leur cible, avoue **Pierre Boutouyrie**, chef du service de pharmacologie de l'hôpital Georges-Pompidou à Paris. Par exemple, le paracétamol est moins efficace, sans que l'on sache vraiment pourquoi. » Son équipe a d'ailleurs proposé à l'Agence spatiale européenne, l'ESA, des projets pour en savoir plus sur le devenir des médicaments dans l'organisme des astronautes. « Nous aimerions réaliser une preuve de concept dans l'ISS sur les traitements pris par les astronautes dans le cadre de leur mission, avant d'établir un essai clinique d'alitement prolongé où sera analysé le devenir de plusieurs principes actifs dont les mécanismes d'assimilation et d'action sont connus », précise le chercheur. À noter qu'il existe un autre écueil au niveau pharmacologique pour les missions de longue durée : la durée de vie des médicaments est réduite de moitié dans l'espace à cause des rayonnements cosmiques. Un ultime défi attend les astronautes lors de missions spatiales : leur réadaptation à la gravité. En effet, l'apesanteur affecte aussi le système vestibulaire. « Cet or-

« Il existe des parallèles évidents entre les conséquences physiologiques des vols spatiaux et le vieillissement, l'immobilisation prolongée et la sédentarité »

Pierre Boutouyrie : unité Inserm 970/ Université Paris-Cité, Paris Centre de recherche cardiovasculaire

Pierre Denise : unité 1075 Inserm/ Université de Caen Normandie, Mobilités : vieillissement, pathologie, santé

gane sensoriel, situé dans notre oreille interne, nous permet de garder l'équilibre et de nous orienter dans notre environnement. Sur Terre, il est constamment stimulé par la gravité », explique **Pierre Denise**, professeur de physiologie médicale à l'université de Caen. Dans l'espace, l'absence de pesanteur perturbe rapidement ce sixième sens et occasionne une désorientation, des vertiges ainsi que des troubles de l'équilibre et de la coordination pendant quelques jours. Les astronautes parlent de « mal de l'espace ». De plus, « la perturbation du système vestibulaire a des impacts physiologiques, sur le système cardiovasculaire, le squelette, les muscles ou encore sur l'horloge interne, mais aussi sur la santé mentale en favorisant anxiété et troubles dépressifs. » Et ce déconditionnement est lourd de conséquences lorsqu'une certaine gravité est rétablie : « Les astronautes sont incapables de se lever. Il leur faut deux à trois jours pour récupérer partiellement leur équilibre. » Lors d'une mission sur un astre lointain, les 24 à 48 premières heures sont pourtant cruciales pour établir un camp de base. Ce risque est pris très au sérieux par la NASA. L'agence spatiale américaine collabore d'ailleurs avec le laboratoire de Pierre Denise, qui étudie les troubles de l'appareil vestibulaire de patients. L'idée : mieux comprendre la maladie et évaluer des protocoles de réhabilitation qui pourraient bénéficier à la fois aux astronautes et aux malades sur Terre. Une des pistes suivies par cette équipe est de solliciter les nerfs du système vestibulaire via une stimulation électrique. « Des essais cliniques sur une trentaine de patients devraient débuter en fin d'année », ajoute Pierre Denise. Ce protocole d'intervention fera appel à des outils de la start-up Neural Balance Innovation (NBI), qui cherche à développer des solutions novatrices pour traiter les pathologies associées aux troubles du système vestibulaire.

Des retombées pour la médecine terrestre

Outre les troubles de l'oreille interne, la médecine spatiale contribue à faire progresser la recherche médicale sur d'autres pathologies. « Il existe des parallèles évidents entre les conséquences physiologiques des vols spatiaux et le vieillissement, l'immobilisation prolongée et la sédentarité », poursuit Laurence Vico. Les personnes âgées, alitées



▲ Thomas Pesquet de retour sur Terre après six mois dans l'espace, le mardi 9 novembre 2021.

© NASA/Aubrey Gemignani



▲ La chercheuse Inserm Claire Laurens réalise des mesures métaboliques lors de la campagne d'immersion sèche Vivaldi de l'ESA, réalisée au Medes sur des sujets exclusivement féminins en 2021.

© CNES/DE PRADA Thierry, 2021

et très sédentaires sont aussi touchées par la fonte musculaire, la perte osseuse, l'affaiblissement du système cardiovasculaire ou encore des troubles du métabolisme. Soit les mêmes symptômes qui affectent les astronautes dans l'espace. Les protocoles d'exercices physiques pratiqués par ces derniers peuvent donc être adaptés pour lutter contre les maladies liées au vieillissement et à la sédentarité. Par ailleurs, les modèles de microgravité simulée comme l'alitement prolongé et l'immersion sèche se révèlent de puissants outils pour la recherche. « Grâce au déconditionnement rapide qu'ils provoquent, en quelques jours à peine avec l'immersion sèche par exemple, ces modèles permettent d'étudier la mise en place des premières étapes de maladies qui mettent en temps normal des années, voire des décennies à se déclarer », ajoute Claire Laurens. Toutes les pathologies associées au vieillissement et à la sédentarité sont potentiellement concernées : le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires, la sarcopénie, qui correspond à la perte de masse et de fonction musculaire avec l'âge, ou encore l'ostéoporose, caractérisée par une fragilité os-

seuse. « Grâce à l'analyse des mécanismes au niveau cellulaire, il est possible d'identifier de nouvelles cibles thérapeutiques. Autre avantage de ces modèles : le déconditionnement est globalement réversible. Idéal pour tester des preuves de concept et établir une causalité », estime la chercheuse.

Les modèles de microgravité simulée ne sont pas les seuls outils de la médecine spatiale à se révéler utiles sur Terre. « À l'époque de la station orbitale Mir, les Russes étaient demandeurs d'appareils pour mesurer la densité minérale osseuse afin de mieux comprendre la perte osseuse qui affecte les cosmonautes, se rappelle Laurence Vico. Une

SONDER LES OS

La santé de nos os ne se résume pas à leur densité. En effet, « l'os est un tissu dynamique et vascularisé », révèle Laurence Vico. Or, les changements de circulation du sang en apesanteur pourraient compromettre la bonne irrigation des os et ainsi contribuer à la perte osseuse des astronautes. Pour mieux comprendre ce phénomène, l'équipe de Guillaume Renaud, spécialiste de physique acoustique à l'Université technique de Delft aux Pays-Bas, en collaboration avec celles de Marc-Antoine Custaud et de Laurence Vico, a mis en place le projet Echo-Bones avec

l'aide du CNES et du Cadmos. « Ensemble, nous avons mis au point un nouvel outil fondé sur un traitement innovant des ultrasons, qui permet de mesurer les propriétés de l'os mais aussi la dynamique du flux sanguin qui en rentre et en sort. » Sophie Adenot a d'ores et déjà servi de cobaye avant son vol. Ces données seront alors comparées à celles collectées à son retour pour mieux comprendre l'impact de son séjour dans l'espace sur son squelette. À terme, ce dispositif pourrait être utilisé dans l'ISS pour le suivi en cours de mission et au sol, que ce soit pour étudier diverses fragilités osseuses mais aussi des problèmes de circulation dans les membres inférieurs.

▼ Sophie Adenot découvre le logiciel d'échographie Echo-Bones aux côtés de Marc-Antoine Custaud.



© CNES/OILLIER Alexandre, 2025

collaboration avec l'École polytechnique fédérale de Zürich a permis de constituer un prototype qui est aujourd'hui devenu un scanner de haute résolution pour déterminer non seulement la densité minérale des os mais aussi leur microarchitecture. Cet outil est désormais utilisé par la plupart des laboratoires de recherche qui étudient le squelette. » Ce type de scanner qui permet de reconstituer les os en 3D est aussi pertinent pour mieux dépister l'ostéoporose. Un nombre important de fractures surviennent en effet chez des patients qui ne sont pas considérés à risque car ils présentent une densité minérale jugée normale. En décelant les atteintes à la microarchitecture osseuse, ce scanner de haute résolution peut réévaluer leur risque de fracture.

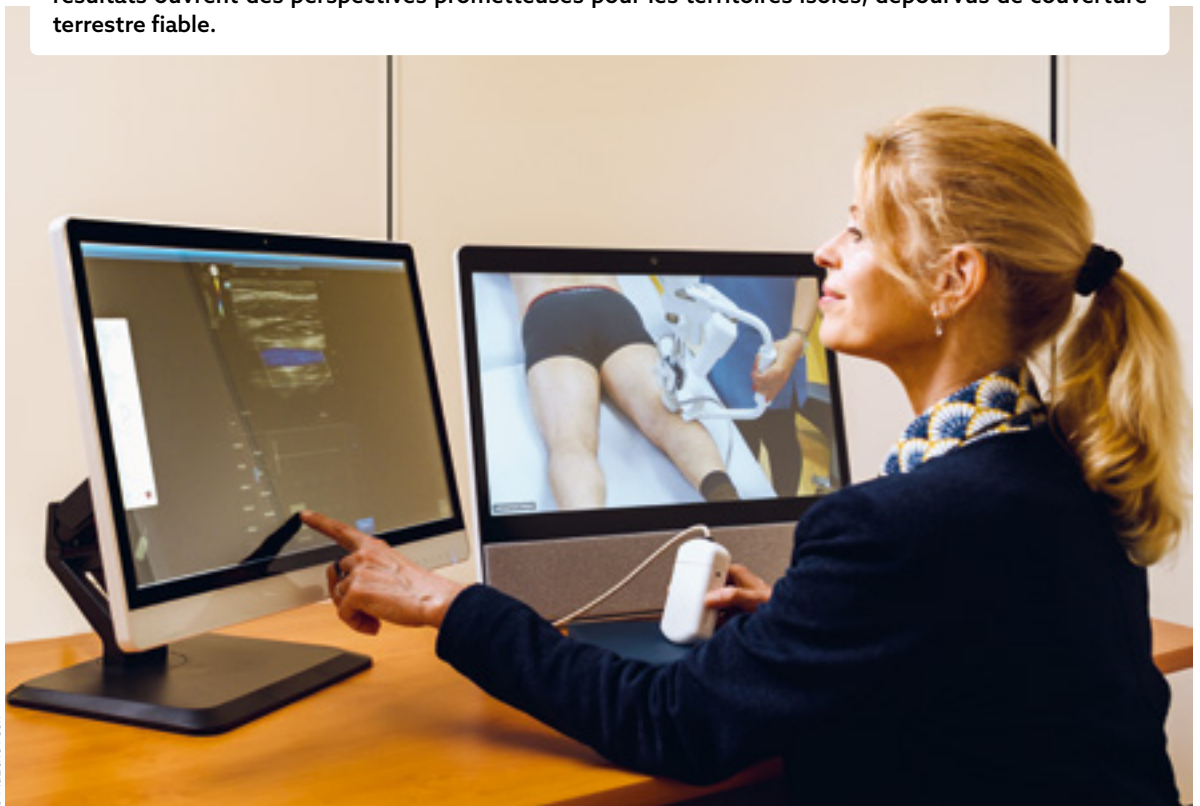
« En plus d'être un accélérateur de connaissances scientifiques, l'espace est aussi un catalyseur de nouvelles technologies qui contribue au progrès médical pour l'ensemble de la population », indique **Guillemette Gauquelin-Koch**, responsable des sciences de la vie et de la médecine spatiale au CNES.

Des dispositifs et applications venus d'ailleurs

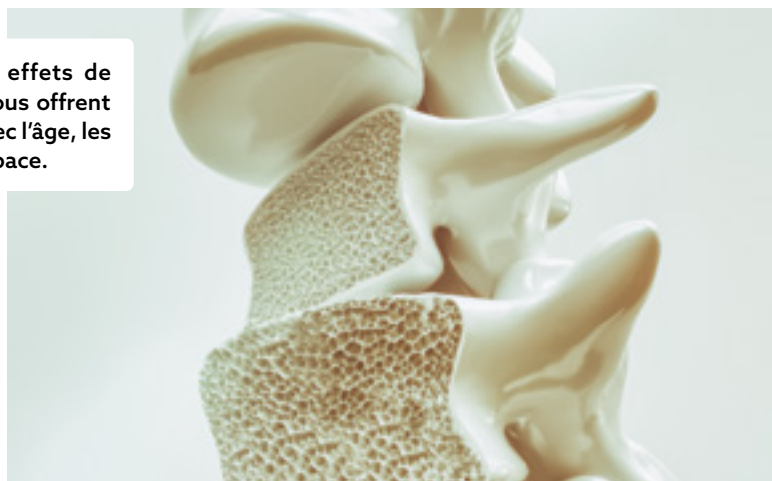
La plupart des protocoles et dispositifs développés par les agences spatiales ont en effet des applications ter-

restres, notamment dans le domaine de la santé. Ainsi le dispositif PhysioTool de suivi des paramètres vitaux que teste Sophie Adenot dans l'ISS est aussi utilisé à la clinique spatiale du Medes. Et « il pourrait servir au suivi ambulatoire de sportifs ou de personnes sujettes aux syncopes », ajoute Marc-Antoine Custaud. La sonde EchoFinder, qui permet de s'affranchir de connaissances médicales pour réaliser des échographies, pourrait aussi bien être utilisée sur Mars que dans des milieux isolés comme les sous-marins, les plateformes pétrolières ou encore les stations polaires. Le CNES a d'ailleurs mis en place un programme spécial afin de développer de nouveaux usages des technologies spatiales à des fins terrestres, en santé en particulier. Appelé Connect by CNES, « ce programme d'accompagnement aide à la recherche de financement, à l'incubation d'entreprises et à la mise en relation avec les structures et laboratoires du secteur spatial », précise Audrey Berthier, directrice exécutive du Medes, dont l'une des missions est de promouvoir les applications de la recherche spatiale dans le domaine de la santé. Les dispositifs médicaux, la santé connectée et la télémédecine sont particulièrement concernés. Ce programme a ainsi accompagné le développement d'AdEchoTech, une entreprise qui propose une solution de télé-échographie pour les déserts médicaux, les milieux isolés ou

▼ Le robot d'échographie à distance Melody (écran de droite) a été soumis à des tests qui ont démontré sa capacité à fonctionner en « zone blanche » grâce aux connexions satellitaires en orbite basse. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour les territoires isolés, dépourvus de couverture terrestre fiable.



► **Gros plan sur la structure osseuse illustrant les effets de l'ostéoporose liée au vieillissement. Les astronautes nous offrent un modèle unique d'exploration du vieillissement car, avec l'âge, les os se fragilisent, tout comme après un voyage dans l'espace.**



© crevis/stock.adobe.com

confinés comme les prisons. Le principe : un opérateur situé à distance du patient manipule une sonde fictive dont les mouvements sont reproduits sur le patient par un bras robotisé équipé d'une sonde réelle. Les données sont transmises en direct par un système de visioconférence. Cette solution a d'ores et déjà été adoptée par des hôpitaux qui ont des difficultés pour recruter des spécialistes ou qui sont situés dans des régions très isolées, comme le Nord canadien. « *Ce type d'outils permet d'améliorer l'accessibilité aux services de santé* », remarque Audrey Berthier.

La recherche biomédicale peut elle aussi bénéficier des avancées technologiques dans le spatial. L'ISS est ainsi un laboratoire où de nombreuses expériences scientifiques sont conduites sur le vivant. Mais depuis quelques années, l'arrivée de nouveaux acteurs privés dans le lancement et les services en orbite change la donne.

L'année 2025 a ainsi vu plus de 300 lancements dont la majorité ont été réalisés par des entreprises privées. Un record. En conséquence, le temps d'accès à l'espace s'est réduit considérablement. « *Avant il fallait attendre des années avant de pouvoir réaliser une expérience en orbite basse* », rappelle Audrey Berthier. Les prix aussi de-

« L'espace est un environnement exceptionnel pour la recherche scientifique »

vraient baisser. « *Cela suscite l'émergence de nouvelles offres de services commerciales dans le domaine spatial pour la recherche biomédicale.* » Sont ainsi lancés en orbite basse terrestre des bioréacteurs et des laboratoires de recherche sur des plateformes habitées ou complètement autonomes pour réaliser des cultures cellulaires en microgravité par exemple. « *L'apesanteur est utilisée pour mettre en évidence des mécanismes biologiques qui se comportent différemment en l'absence de gravité* », ajoute Audrey Berthier. Le projet Pricilia porté par l'entreprise Medetia en collaboration avec le laboratoire Sainbiose, l'Institut Imagine de Paris et l'entreprise SpacePharma tente ainsi de comprendre l'impact de la gravité sur les cartilages. Issue de l'accélérateur industriel de l'ESA consacré aux sciences de la vie coordonné par le Medes, cette initiative pourrait identifier de nouvelles cibles thérapeutiques contre l'arthrose. Par ailleurs, certaines entreprises se sont aussi lancées dans la production de médicaments en orbite. « *La microgravité permet d'optimiser la cristallisation de protéines. Les cristaux sont de meilleure qualité, mieux structurés* », précise Audrey Berthier. Un avantage pour limiter les effets secondaires et améliorer l'efficacité de certains médicaments comme les anticorps monoclonaux, ces protéines produites en laboratoire capables de reconnaître et d'éliminer de façon spécifique une ou plusieurs autres molécules pour traiter une maladie donnée. Comme le souligne Audrey Berthier, « *l'espace est un environnement exceptionnel pour la recherche scientifique* ». Et les connaissances que celle-ci engendre contribuent à améliorer notre santé à toutes et tous, astronautes comme Terriens. ●

LA SANTÉ VUE DU CIEL

Les données et images de la Terre recueillies par satellite peuvent aussi se révéler utiles à notre santé. « *Les données spatiales peuvent être intégrées à d'autres paramètres pour caractériser les liens entre santé, climat et environnement sur certaines problématiques de santé publique*, ajoute Audrey Berthier. *C'est la télé-épidémiologie.* » Elle permet de cartographier le risque associé à des maladies qui prolifèrent

dans certaines conditions climatiques et environnementales particulières. C'est par exemple le cas de la dengue et du chikungunya, dont les virus sont transmis par les moustiques. Le couvert forestier, les températures ou encore l'abondance de pluie peuvent en effet être détectés par satellite. Lorsque l'on associe ces données à d'autres, démographiques notamment, il est possible d'identifier les zones les plus à risque de transmission de ces virus.

Pour aller plus loin

► M.-A. Custaud, S. Blanc, G. Gauquelin-Koch, C. Gharib. *L'humain et l'espace. Ses adaptations physiologiques*. Books on Demand, décembre 2020

► G. Gauquelin-Koch et al. « L'espace au service de la santé ». *Bulletin de l'Académie nationale de médecine*, 23 juin 2025

Reportage



PÉDALER À TOUT PRIX ?



Ils seraient des dizaines de milliers rien qu'en Île-de-France. Tous les jours, des coursiers pédalent vite pour livrer le plus de repas à domicile possible. Entre rythmes effrénés, dépendance aux plateformes de livraison, efforts physiques, exposition aux aléas climatiques et revenus très faibles... cette population est particulièrement vulnérable en matière de santé physique et mentale. À cette précarité s'ajoute l'absence de titre de séjour pour les deux tiers d'entre eux, les éloignant un peu plus des circuits classiques de soins. Le chercheur Marwân-al-Qays Bousmah et son équipe de scientifiques et d'associatifs se sont rendus à leur rencontre, afin de réaliser la première enquête de recherche participative sur les conditions de santé et l'accès aux soins des livreurs à vélo.

Par Lucile André

Photos Inserm/François Guénet

Noufou Bamba pédale tous les jours, qu'il pleuve ou qu'il fasse une chaleur écrasante. Dans les rues de Paris, il dévale les kilomètres pour livrer les commandes rapidement. Quitte à prendre des risques sur la route. Et peu importe la difficulté physique de pédaler entre huit et dix heures ou d'attendre dans le froid « que ça sonne ». Tout cela pour un revenu brut d'environ 6 euros par heure.

Des conditions de travail infernales souvent associées à une précarité administrative : on estime que deux livreurs sur trois ne possèdent pas de papiers. Pour travailler, ils doivent alors sous-louer le compte de quelqu'un qui le propose illégalement. Une démarche qui n'est pas gratuite, et vient couper encore plus dans les maigres gains gagnés à coups

« Le but de notre étude est de mieux connaître la population des livreurs qui travaillent dans les grandes métropoles françaises et de comprendre les liens entre leurs conditions de travail et leur santé »

de pédale : 500 euros par mois en moyenne pour une sous-location. Que les livreurs possèdent leur propre compte ou non, leur activité peut être considérée comme du salariat déguisé. De fait, ils sont totalement dépendants des plateformes de livraison pour obtenir des courses et leur compte est parfois déconnecté arbitrairement par ces dernières ; mais pour autant, ils n'ont aucun droit au chômage, aux congés payés, ni même aux arrêts maladie... et peu de données existent sur leur accès aux soins. « Le but de notre étude est justement de mieux connaître la population des livreurs qui travaillent dans les grandes métropoles françaises et de comprendre les liens entre leurs conditions de travail et leur santé », explique **Marwân-al-Qays Bousmah**, chargé de recherche à l'Institut national d'études démographiques en région parisienne.

Enquête de terrain

Pour cela, son équipe a cartographié les différents points de Paris et Bordeaux où les livreurs stationnent en attendant de recevoir une commande sur leur téléphone. Elle est ensuite venue à leur rencontre pour leur proposer de répondre à un questionnaire sur leur état physique et mental ❶. « Nous avons tenté de comprendre en quoi leurs problématiques de santé sont liées à leur mode de travail : de longues heures sur un vélo ou un scooter, travailler dans le froid ou le chaud, l'organisation complètement déshumanisée des plateformes et basée uniquement sur la rentabilité », raconte **Annabel Desgrées du Loû**, directrice de recherche à l'Institut de recherche pour le développement et co-porteuse du projet. Il a fallu gagner la confiance des 1 000 coursiers interrogés, dont ceux en situation irrégulière. La prise de contact avec ces travailleurs a été grandement facilitée par les associations partenaires,

Marwân-al-Qays Bousmah :
Institut national
d'études
démographiques
(Ined)

**Annabel
Desgrées du
Loû :** unité 1348
Inserm/IRD/
Université Paris-
Cité/Université
Sorbonne Paris
Nord (Paris 13),
Centre Population
et développement



◀ Le chercheur Marwân-al-Qays Bousmah et l'ancien livreur Abdoulaye Karamoko échantent sur le questionnaire.



2 ▲ Le projet Santé-course est mené en collaboration avec des chercheurs, des associatifs et des livreurs.

comme la Maison des coursiers à Paris, un lieu qui permet aux livreurs de venir se reposer, d'utiliser des toilettes, de charger leur téléphone et d'être aidés dans leurs démarches administratives ou soutenus en cas de conflit avec les plateformes 2 3. « Notre asso est là pour défendre les droits des livreurs et créer un rapport moins inégal avec les entreprises de livraison, car ils n'ont aucune assistance de la part de ces sociétés, et ce type de travail ne permet pas d'être régularisé », témoigne Circé Lienart, coordinatrice de la Maison des coursiers.

Des coursiers acteurs de la recherche

Pour mettre ce projet sur pied, les chercheurs se sont tournés... vers les livreurs eux-mêmes. Et c'est là toute l'originalité de l'étude. « Ils ont été inclus dans le processus du début à la fin, relate Marwân-al-Qays Bousmah. Ils ont participé à la conception du questionnaire et de la stratégie d'enquête, par exemple sur la



3 ◀ La Maison des coursiers à Paris permet aux livreurs de recharger leur téléphone.



▲ Le court-métrage *Sans s'arrêter* a été présenté à la Maison des coursiers à Paris en avant-première.

4

manière de dédommager les livreurs qui répondaient au questionnaire d'une durée de 45 minutes pendant lesquelles ils ne pouvaient pas prendre de commande, ils nous ont donné des pistes sur les hypothèses à tester... » et ont même pris part à l'analyse des données. Leur inclusion dans la création du projet a l'avantage de placer les chercheurs au plus près des réalités que vivent les coursiers, qui peuvent parfois être difficiles à imaginer sans y être confronté. C'est ce que l'on appelle de la recherche participative, financée par l'Inserm pour ce projet.

Tramadol le jour, somnifères la nuit

Résultats ? Les premières données montrent une importante prévalence de troubles musculo-squelettiques et uro-génitaux, liés aux cadences intenses, à la position assise prolongée sur une selle et au manque d'accès à des toilettes. « *Leur santé mentale est aussi très dégradée puisque près de la moitié d'entre eux souffre*

« **Leur santé mentale est aussi très dégradée puisque près de la moitié des coursiers souffre d'anxio-dépression modérée à sévère** »

d'anxio-dépression modérée à sévère », rapporte Annabel Desgrées du Loû. *On constate que plus les gens ont un statut administratif précaire, moins ils vont bien.* » Conséquence : de nombreux coursiers prennent des somnifères la nuit et du tramadol le jour, un antalgique puissant normalement délivré sur ordonnance et procuré sur le marché noir. « *Le risque est de tomber dans l'addiction à ces antidouleurs* », alerte Marwân-al-Qays Bousmah. Une santé abîmée à cause de conditions de travail très difficiles, que plusieurs livreurs bénévoles ont voulu illustrer dans un court-métrage réalisé avec la Maison des coursiers pour sensibiliser

le grand public ④. Il s'agit d'une fiction qui raconte leurs galères : clients agressifs, vélos volés, accidents de la route, concurrence entre livreurs...

L'équipe du projet quant à elle a publié un rapport fin mars. Le travail des chercheurs s'arrête là pour l'instant. Mais celui des associations continue : forte de ces résultats scientifiques, l'organisation Médecins du monde prépare un plaidoyer en faveur des livreurs à vélo afin de leur laisser le choix de la salarisation et de pouvoir faire reconnaître ce travail dans une démarche de régularisation. Un sujet qui prévoit d'être chaud en 2026, puisqu'une nouvelle directive européenne sur les plateformes de livraison doit être transposée en droit français, notamment pour rendre plus transparents les algorithmes qui organisent ce travail. Reste à savoir si la France transposera cette directive de manière la plus favorable aux coursiers, ou si elle choisira la voie du strict minimum avec un risque de pérennisation du statut de travail « ubérisé ». ●

Le projet Santé-course est mené en partenariat avec l'IRD, l'Ined, Médecins du monde, la Maison des coursiers de Paris et la Maison des livreurs de Bordeaux.

En savoir plus

Voir la bande annonce du court-métrage :

<https://www.youtube.com/watch?v=iNEgwpXORv4>

Lire le rapport et découvrir le projet

sante-course.site.ined.fr



► Marwân-al-Qays Bousmah et sa collègue Anne Gosselin dans les bureaux de l'Ined



Comment diminuer le nombre de maladies cardiovasculaires ?

Les maladies cardiovasculaires, comme les accidents vasculaires cérébraux, les infarctus du myocarde ou encore l'insuffisance cardiaque, représentent la seconde cause de mortalité en France, et tuent davantage de femmes que d'hommes. Le nombre de décès s'était pourtant effondré au cours du xx^e siècle grâce aux avancées thérapeutiques, passant d'environ 320 cas pour 100 000 habitants vers 1955 à une soixantaine en 2022. Mais aujourd'hui, la mortalité ne diminue plus et même elle augmente chez les femmes, alors que les principaux facteurs de risque sont connus : hypertension, obésité, stress, sédentarité ou encore hypercholestérolémie. Quelles stratégies mettre en œuvre pour diminuer le nombre de maladies cardiovasculaires ? Trois experts nous livrent leur vision.

Propos recueillis par Aude Rambaud

Illustrations par Iris Hatzfeld

Ludovic Gomez

chercheur Inserm au laboratoire Carmen dans le domaine des maladies cardiovasculaires, du métabolisme, de la diabétologie et de la nutrition à Lyon



Une seule chose fonctionne pour diminuer le risque de maladies cardiovasculaires : l'activité physique ! Si elle était pratiquée par toutes et tous, tous les jours, cela ferait vraiment la différence. En comparaison, les autres facteurs de risque ont moins de poids. **L'impact négatif d'une alimentation déséquilibrée ou encore du tabac est atténué par une activité physique très régulière.** Je ne parle pas de marathon mais de tous les déplacements, les efforts, effectués au quotidien. Idéalement, il faudrait marcher entre trente minutes et une heure chaque jour. Nous voyons bien en laboratoire que

nos modèles précliniques sportifs sont protégés des maladies cardiovasculaires et notamment de l'infarctus du myocarde. À l'inverse, ceux qui s'arrêtent de bouger, en raison d'une surcharge pondérale notamment, deviennent rapidement vulnérables. En outre, il s'agit de la seule intervention facilement adoptable par tous ; les possibilités sont variées, elle peut être pratiquée en groupe et est souvent gratuite. Alors que modifier son alimentation est contraignant dans la durée et souvent synonyme de perte de plaisir. Évidemment, les collectivités ont un rôle important à jouer en développant des espaces verts et des aménagements urbains favorables à la promenade ou au vélo. Les femmes, notamment, en tireraient un bénéfice important car après la ménopause, elles sont plus nombreuses à mourir des maladies cardiovasculaires. Ces dernières sont un peu, et à tort, considérées comme des maladies masculines ; par conséquent, le dépistage est moins systématique chez les femmes, et la prise en charge est souvent trop tardive ou moins intensive. D'où l'importance pour ces dernières de rester très actives.

Jean-Philippe Empana

directeur de recherche Inserm au Centre de recherche cardiovasculaire de Paris (Parcc)



« Pour faire diminuer les maladies cardiovasculaires, il faut renforcer la prévention. Il n'y a plus le choix car tout le monde est concerné un jour ou l'autre, et c'est un véritable fardeau pour notre système de soins. Mais **les messages classiques de prévention ont leurs limites ; même si les gens savent ce qui est bien pour eux, ils ne le font pas pour autant.**

Depuis dix ans, mon équipe travaille sur les approches de « prévention primordiale » des facteurs de risque cardiovasculaire comme l'obésité, l'hypertension ou le diabète. L'objectif est de tendre vers une santé cardiovasculaire dite idéale. Cela demande à la fois l'engagement des individus via la promotion d'une hygiène de vie exemplaire, mais également des politiques de santé favorables. Nos enquêtes montrent qu'à l'âge de cinq ans, seulement un tiers des enfants en France a une santé cardiovasculaire optimale. Et à l'âge adulte, les hommes s'en écartent deux à trois fois plus souvent que les femmes. Pour changer durablement les comportements, nous proposons d'intervenir dès l'enfance. Des travaux menés en école maternelle ont montré des résultats intéressants avec des comportements qui s'améliorent, mais il faut effectuer des piqûres de rappel. De notre côté, nous prévoyons de tester des interventions en classe chez les 12-17 ans avec des coaches et des jeux pédagogiques, ainsi que chez les 18-25 ans avec des outils numériques personnalisés, jouant sur l'estime de soi et la motivation. L'enjeu dépasse le cadre cardiovasculaire et concerne notamment la santé mentale, cognitive, ou encore la lutte contre le cancer.

C. Prugger et al.
Lancet Reg Health Eur., 6 mai 2024

► coeur-recherche.fr

La lutte contre les maladies cardiovasculaires a tendance à stagner car la recherche est en berne. Or, il y a beaucoup à découvrir par exemple sur l'inflammation ou le stress, et en particulier chez les femmes. Le nombre d'infarctus du myocarde a tendance à augmenter chez ces dernières sans que l'on sache pourquoi, or il est souvent pris en charge tardivement. Elles ne sont pas reconnues comme pouvant faire un infarctus, de sorte que les soignants sont insuffisamment sensibilisés à la recherche des symptômes chez ces dernières. Nous constatons aussi qu'elles sont plus vulnérables que les hommes face aux facteurs de risque comme l'hypertension ou le diabète. Nous savons aussi que celles qui font des complications au cours de la grossesse, du diabète gestationnel, de la prééclampsie ou encore des fausses-couches, ont un risque multiplié par deux ou trois de maladie cardiovasculaire par la suite. Les femmes concernées ne le savent pas, et en dehors des gynécologues, les professionnels de santé l'ignorent le plus souvent, alors qu'elles doivent bénéficier d'un suivi régulier à partir de 45 ou 50 ans. En outre, **les essais cliniques incluent essentiellement des hommes de sorte que, une fois sur le marché, les médicaments ne sont pas aux doses adaptées pour les femmes, qui interrompent plus souvent leurs traitements contre l'hypertension ou l'hypercholestérolémie.** Toutes ces raisons font que les femmes sont moins efficacement prises en charge. Réduire les maladies cardiovasculaires passera donc par la recherche, un meilleur dépistage des facteurs de risque surtout chez les femmes, et une meilleure prise en compte des particularités de maladies cardiovasculaires chez ces dernières.



Martine Gilard

cardiologue,
administratrice de la fondation Cœur et recherche

Une journée avec... | Germán Sumbre

Par Flora Danan

Photos Inserm/François Guénet

Des grands mystères de l'évolution, il y en a à foison. Germán Sumbre, directeur de recherche Inserm en neurosciences à Paris, a choisi de se focaliser sur une question microscopique : le cerveau des poissons. Depuis quelques années, il s'intéresse à une espèce particulière : le tétra mexicain. Il y a des milliers d'années, une partie de ces individus ont dû faire face à des changements écologiques. Ils ont été piégés dans des cavernes obscures et enclavées, et ont progressivement perdu la vue. Leur cerveau a connu des modifications structurelles qu'il s'agit de comprendre du point de vue de l'évolution, notamment la façon dont ils perçoivent à présent leur environnement. Munis de volumineuses machines et de méticulosité, Germán Sumbre et son équipe tentent de passer au crible le cerveau de ces spécimens afin de savoir comment son activité a évolué face à la pression du milieu, et comment il se distingue de celui de leurs homologues restés dans les rivières.



9 H 30

Germán Sumbre nous accueille dans son laboratoire, à l'**Ibens**, en plein cœur du Quartier latin de Paris. C'est entouré de ses trois doctorants, son postdoc, son ingénieure et bien sûr ses poissons que le chercheur se penche chaque jour sur les dynamiques neuronales du comportement animal, un domaine appelé la « neuroéthologie ».

Ibens : unité 1024 Inserm/CNRS/ENS, Institut de biologie de l'École normale Supérieure

LE MYSTÈRE DES POISSONS DEVENUS AVEUGLES



10 H

En arrivant le matin, Ehud Vinepinsky, doctorant, nourrit les poissons adultes dans les aquariums. Lorsque la fécondation aura eu lieu, les étudiants récupéreront les œufs pondus durant la nuit. Il faudra alors les disposer dans une boîte de Petri et attendre que les larves sortent. Ce sont ces dernières qui seront étudiées au microscope. En effet, elles sont complètement transparentes. Il est donc possible d'enregistrer l'activité de tout le cerveau d'un vertébré intact et éveillé tout en mesurant son comportement.

10 H 30

Le tétra mexicain est un excellent modèle pour étudier l'adaptation du cerveau au cours de l'évolution. Il y a environ 40 000 ans, une partie de l'espèce a été piégée dans de sombres cavernes souterraines, si bien qu'elle a fini par perdre complètement la vue et sa pigmentation. Pour expliquer comment ces poissons ont cessé de voir, l'idée est de comparer le fonctionnement d'une région neuronale clé, le **toit optique**, avec celui de leurs cousins des rivières, qui eux, ont conservé la vision. L'équipe a voulu comprendre comment cette zone s'est réorganisée et à quoi elle sert à présent.

Toit optique. Zone, aussi appelée « tectum optique », en charge du traitement de l'information visuelle et des comportements chez les poissons, les amphibiens et les reptiles

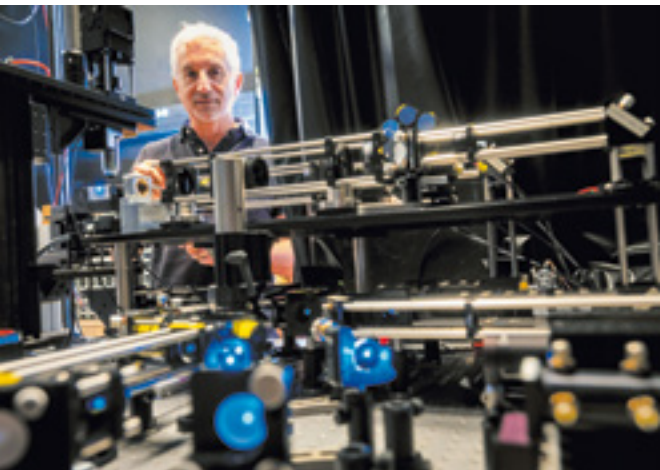


11 H

Sur cette image en microscopie fluorescente, le cerveau d'un tétra cavernicole est représenté par différentes couleurs, qui permettent de distinguer les types de neurones, par exemple ceux qui transmettent le message nerveux et ceux qui l'inhibent. Bien que chez cette sous-espèce la région du toit optique ne serve plus à voir, elle semble avoir été réquisitionnée pour détecter l'environnement en utilisant une autre modalité : les poissons sont encore capables de localiser leurs proies en « sentant » leurs turbulences dans l'eau.



Une journée avec Germán Sumbre



12 H

Au cours de sa carrière, Germán Sumbre a dû apprendre à assembler, manipuler et réparer les outils d'imagerie et tient à ce que ses étudiants fassent de même. En plus des deux microscopes biphotons, qui permettent d'observer les neurones par fluorescence, le laboratoire possède un microscope à feuille de lumière. Cet appareil permet de stimuler des couches entières de neurones et d'enregistrer leur activité par une caméra.



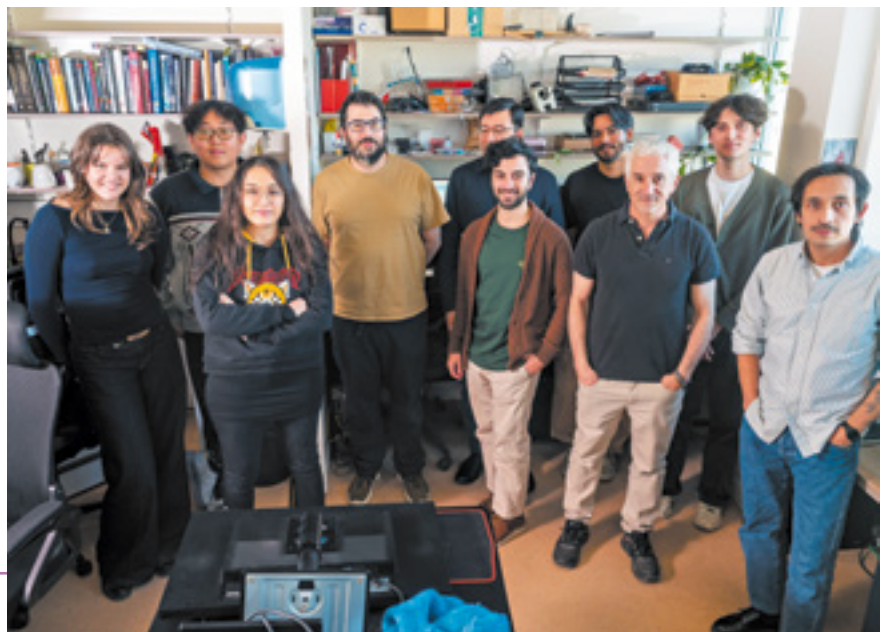
14 H

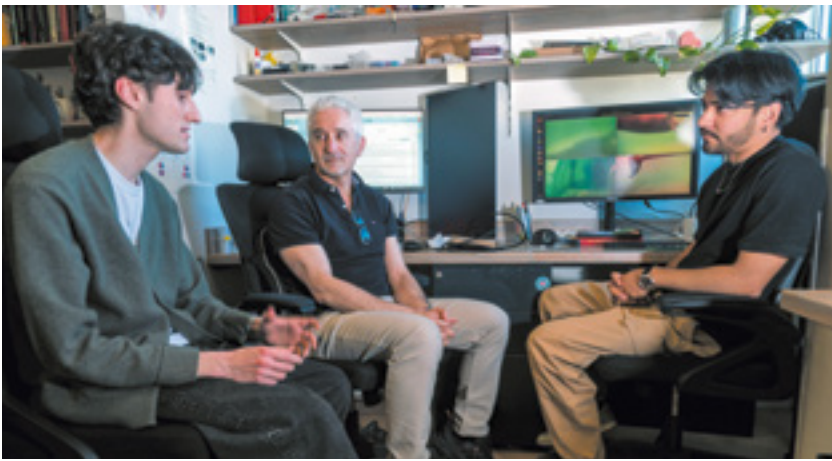
Hanliang Zhang, doctorant, prend le contrôle d'un « neurone électronique ». L'équipe a mis au point une technique permettant à ce circuit d'interagir avec le cerveau du poisson. Grâce à de l'optogénétique – la stimulation d'un neurone par la lumière –, le message électrique provenant du circuit va être interprété par le cerveau, qui réagit ; ce flux va constituer un apprentissage. Il s'agit d'un protocole de cognition augmentée*.

* Travail mené en collaboration avec l'équipe de Marcelo Rozenberg (UMR 8002 CNRS/Université Paris Cité, Centre neuroscience intégrative et cognition)

15 H

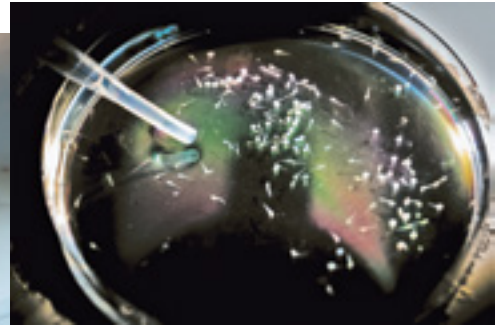
L'équipe au complet est réunie dans les bureaux, où chacun s'attèle à de l'analyse de données. Tous ne travaillent pas sur le tétra mexicain. Certains s'intéressent à la connectivité neuronale des poissons zèbres, une espèce au génome proche du nôtre, ou même à la communication chez les dauphins.





16 H

Les étudiants Pablo Robin Guerrero (à gauche) et Faadil Mustun (à droite) extraient des enregistrements du langage des dauphins. Leur espèce utilise des sifflements pour communiquer. Ils serviraient entre autres à s'identifier les uns les autres, et s'organisent selon une certaine syntaxe, voire une grammaire.



17 H

Des œufs de poissons zèbres éclosent ! Sarah Nourin, l'ingénieure de recherche, nettoie les boîtes des enveloppes vides et assainit le milieu dans lequel sont contenues les larves. Les lignées transgéniques manipulées pour les besoins de l'expérience expriment deux types de fluorescence en fonction de la mutation d'intérêt. La scientifique doit parfois les trier à la main, munie d'une pipette et d'un peu de patience.

18 H

Les larves de poissons zèbres ont elles aussi l'avantage d'être transparentes. Elles constituent un modèle de choix dans nombre de laboratoires de biologie, notamment pour étudier le développement. Diego Topsakalian, l'un des postdoctorants de Germán Sumbre, s'intéresse à la naissance des neurones. Il cherche à mieux comprendre la migration des cellules, c'est-à-dire comment à partir d'une cellule souche se forme un précurseur neuronal qui va finalement rentrer dans le tissu du toit optique. Grâce à des outils mathématiques, l'équipe tente de modéliser le traitement de l'information au plus proche possible du vivant. C'est en s'intéressant de près au modèle animal que l'on sera en mesure d'en savoir plus sur le cerveau humain, et d'avancer dans la recherche médicale.



Propos recueillis par Pascal Nguyễn

OUVRIR LA SCIENCE AUX ADOS

**Christelle
Soukaseum**

ingénieure d'études Inserm et coordinatrice
du dispositif Apprentis chercheurs de l'Arbre
des connaissances

En plus de ses activités professionnelles au sein de l'unité Hémostase inflammation thrombose en région parisienne, Christelle Soukaseum s'est donné pour mission d'ouvrir les portes des laboratoires Inserm à des collégiens et lycéens. Dans le cadre de l'association l'Arbre des connaissances, elle permet ainsi à des adolescents de découvrir concrètement les travaux en recherche médicale.

Quelles sont vos activités professionnelles au sein de l'Inserm ?

Christelle Soukaseum : Je suis ingénieure d'études Inserm au sein de l'unité Hémostase inflammation thrombose au CHU du Kremlin-Bicêtre, qui compte une quarantaine de personnes. Je travaille en étroite collaboration avec des chercheurs et j'encadre des étudiants. Concrètement, je réalise des expériences pour valider ou invalider les hypothèses scientifiques émises par les chercheurs. Avec eux, j'analyse les résultats obtenus. Actuellement, je participe à des travaux qui portent sur l'étude des plaquettes sanguines à travers des modèles de souris transgéniques. Nous travaillons, par exemple, sur les phénomènes de **thrombose**. Pour cela, nous induisons de manière très contrôlée des caillots sanguins sur des modèles murins dits « sauvages » et des modèles dont un gène est rendu inactif. L'objectif est de comprendre précisément le rôle du gène en question dans la formation d'un caillot in vivo.

Vous êtes également coordinatrice bénévole du projet Apprentis chercheurs au sein du CHU. En quoi cela consiste-t-il ?

C. S. : C'est un projet porté par l'Arbre des connaissances, association créée en 2004. L'idée est d'accueillir au sein des laboratoires Inserm, un mercredi après-midi par mois, des binômes composés d'un collégien en classe de 3^e et d'un lycéen de 2^{de} ou de 1^{re}. Contrairement à un stage de 3^e classique où les élèves restent observateurs, dans ce dispositif, les adolescents

réalisent de vraies expériences où ils obtiennent des résultats qu'ils doivent analyser.

Pour cela, ils sont encadrés par des professionnels volontaires – chercheurs, doctorants, ingénieurs ou techniciens – qui leur montrent la démarche scientifique et préparent les échantillons pour les expériences. L'objectif est d'éveiller l'esprit critique des jeunes et de leur faire découvrir le monde de la recherche de l'intérieur. Il y a environ dix séances, de décembre à fin mai. C'est un engagement fort : cette année, nous accueillons dix élèves répartis en cinq binômes.

Comment des adolescents s'approprient-ils des concepts scientifiques qui semblent parfois très complexes ?

C. S. : C'est justement ce qui est passionnant ! Au début, on peut parfois percevoir une certaine nonchalance propre à l'adolescence. Mais au fil des séances, où les encadrants leur préparent des expériences réelles, une métamorphose s'opère.

Le point d'orgue du dispositif est le congrès des Apprentis chercheurs organisé en fin d'année scolaire. Les élèves y présentent leurs travaux devant leurs professeurs, leurs proches et leurs camarades. C'est une véritable révélation : ils s'approprient un vocabulaire scientifique pointu et expliquent leur projet avec une assurance impressionnante.

Certains élèves en gardent d'ailleurs un tel souvenir qu'ils s'orientent parfois vers des filières scientifiques. J'ai ainsi accueilli une ancienne apprentie cher-

« Dans ce dispositif, les adolescents réalisent de vraies expériences où ils obtiennent des résultats qu'ils doivent analyser »

cheuse pour son stage de BTS de biotechnologie !

Quand vous êtes-vous lancée auprès de l'Arbre des connaissances ?

C. S. : En 2009, j'ai intégré le Centre de recherche cardiovasculaire de Paris (Parcc). Une post-doctorante y gérait le dispositif et m'a recrutée comme encadrante en 2010. Quand je suis arrivée au CHU du Kremlin-Bicêtre, le dispositif Apprentis chercheurs n'existait pas. Avec l'aide de personnes de l'association, je me suis donc lancée comme coordinatrice pour l'hôpital en 2016. Le projet sur le site fête ainsi ses 10 ans cette année.

Certes, cela nécessite des efforts, notamment pour recruter au sein des laboratoires les encadrants, pour qui cela représente également un investissement en temps non négligeable. Mais quelle satisfaction de constater que nous avons réussi à rendre la science concrète pour ces jeunes ! Même si les apprentis se dirigent finalement vers des carrières littéraires ou économiques, ils repartent avec une meilleure compréhension de la science, et c'est là l'essentiel. ●

Thrombose.

Caillot de sang qui se forme dans une veine

Christelle Soukaseum :
unité 1176 Inserm/
Université Paris-Saclay



© Photo12/Alamy/Landmark Media/Amazon MGM Studios

▲ Dans le film *Projet Dernière Chance*, Ryland Grace, professeur de sciences, se réveille seul et amnésique après une hibernation prolongée dans l'espace.

POURRA-T-ON HIBERNER UN JOUR ?

C'est un classique des films de science-fiction : des astronautes se retrouvent dans des caissons d'hibernation le temps d'un voyage spatial qui dure parfois des années. Pourtant, aucun humain n'a la capacité d'entrer dans cet état où température corporelle et rythme cardiaque chutent drastiquement. Pourrait-on y arriver dans le futur ? Est-ce qu'il existe un intérêt pour la santé ? Éléments de réponse avec **Guillemette Gauquelin-Koch** du Centre national d'études spatiales (CNES), et **Valérie Simonneaux**, chercheuse en chronobiologie à Strasbourg.

Dans le film *Projet Dernière Chance* sorti le 18 mars en France, le professeur Ryland Grace (joué par Ryan Gosling) se réveille après un long coma artificiel à bord d'un vaisseau spatial. Pourquoi cette scène relève-t-elle encore de la fiction ?

Guillemette Gauquelin-Koch : C'est le rêve de toutes les agences spatiales de faire hiberner les astronautes ! Afin de diminuer leur consommation d'énergie et d'éviter les troubles psychologiques lors d'hypothétiques longs voyages dans l'espace. Mais c'est actuellement impossible sur la durée, les dégâts physiologiques seraient trop importants au réveil.

Valérie Simonneaux : À l'heure actuelle, nos connaissances des mécanismes d'hibernation ne permettent pas d'envisager de provoquer un phénomène similaire chez l'humain. Néanmoins, des expériences réalisées sur la souris de laboratoire (qui n'hiberne pas) ont permis d'induire une diminution de la température corporelle significative. Des travaux récents ont notamment montré que l'activation de neurones appelés QRFP peut déclencher des phénomènes de torpeur pendant plus d'une journée avec notamment un ralentissement des fréquences cardiaques et respiratoires, et une baisse de la température de 37 °C à 25 °C, de façon réversible et sans dommage biologique. La connaissance de ces mécanismes permet-

trait à terme d'induire des épisodes d'hypométabolisme chez l'humain, c'est-à-dire un ralentissement du métabolisme.

Des études sont-elles en cours sur ce sujet ?

G. G.-K. : Au CNES, nous allons faire une expérimentation en juin 2026 pour mettre dix volontaires en état de métabolisme ralenti. L'intérêt est d'étudier la réaction de l'organisme en cas de problème dans le

Guillemette Gauquelin-Koch : Centre national d'études spatiales (CNES)

Valérie Simonneaux : CNRS/Université de Strasbourg, Institut des neurosciences cellulaires et intégratives (INCI)

vaisseau nécessitant de diminuer les rations de nourriture. Pendant dix jours, ils consommeront une cuillerée de miel le matin et un bouillon la journée, pour un total de 250 kilocalories/jour. Ils seront alités avec les pieds légèrement relevés pour simuler la microgravité. Nous allons étudier les effets sur le cœur, les os, les muscles, l'immunologie, l'aspect psychologique... C'est la première fois qu'une telle étude est menée chez l'humain.

Quels pourraient être les avantages de l'hibernation sur la santé ?

V. S. : Réussir à induire des épisodes de torpeur chez l'humain pourrait conduire à de nouvelles applications thérapeutiques. Entre autres, le ralentissement du métabolisme général lors d'interventions chirurgicales majeures pour permettre de pratiquer des opérations plus longues, la réduction de lésions tissulaires consécutives à un infarctus ou à un accident vasculaire cérébral en diminuant le flux sanguin, voire, dans le futur, induire un état hypométabolique nécessaire à une exploration spatiale de très longue durée...

Propos recueillis par Lucile André

Voir le film

En salle depuis le 18 mars 2026



© Photo12/Te Art/Amazon MGM Studios

C. Sáenz de Miera et al. *Curr Biol.*, 7 juillet 2014

FESTIVAL

InScience 2026

Le festival de l'Inserm revient le 29 mai pour les scolaires et le 30 mai pour tous! Dédié à la santé et à la culture scientifique, il se tiendra en ligne et dans toute la France. L'occasion de découvrir l'univers de la recherche médicale dans tous les formats et pour tous les âges.

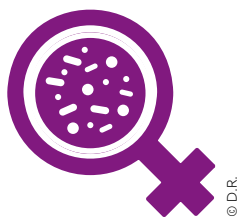
Le festival commence fort avec le film immersif **Résonances** cocréé par l'Inserm et Exaltia, qui partira pour une tournée itinérante dans toute la France.

Autre nouveauté : **Le livre des pourquoi**. Un petit guide pour les 6-8 ans qui aborde 28 questions pratiques pour les curieux de science : Pourquoi le sang est-il rouge ? Pourquoi le cœur des hommes et des femmes ne bat-il pas pareil ? Pourquoi doit-on se brosser les dents ? ...

La nouvelle série de dessins animés **Chercheurs d'un monde meilleur** embarque petits et grands dans le quotidien de scientifiques passionnés, explorant leurs défis et leurs découvertes avec une touche de poésie.

Le festival se vit enfin cette année encore en BD avec un tome 4 d'**InScience**, toujours illustré par Maïté Robert, qui présente de nouveaux projets de chercheurs et de chercheuses Inserm soutenus par l'Agence nationale de la recherche.

Programme complet: inserm.fr



PATRIMOINE

Femmes de sciences

En 1889, en rendant honneur à de grands scientifiques, Gustave Eiffel avait pour objectif, face aux critiques à l'époque, de légitimer son œuvre en la plaçant sous les auspices de la science et du progrès... mais en oubliant les femmes. Il était grand temps de compléter ce projet initial, selon l'association Femmes & Sciences, qui a mené un long travail de sélection, en lien avec les organismes de recherche dont l'Inserm, ainsi que de nombreuses associations scientifiques françaises et internationales. Ainsi, 72 femmes ont été retenues pour la frise qui doit être réalisée, juste au-dessus de celle des 72 savants, au premier étage de la tour Eiffel.

Consulter la liste des 72 femmes de sciences: femmesetsciences.fr

VIDÉO

L'histoire de MAAD Digital

MAAD Digital vise à garantir aux jeunes un accès à des informations scientifiques validées sur les addictions et les conduites à risque. Dans cette vidéo, Bertrand Nalpas, médecin addictologue et directeur de recherche émérite à l'Inserm, prend la parole pour nous raconter l'histoire de MAAD depuis sa création et nous fait découvrir les coulisses de ce site de référence qui s'organise alors autour d'une grande idée : proposer une approche synergique entre science, éducation à l'information, prévention et diffusion de pair à pair. Un site à consulter sans modération !

maad-digital.fr

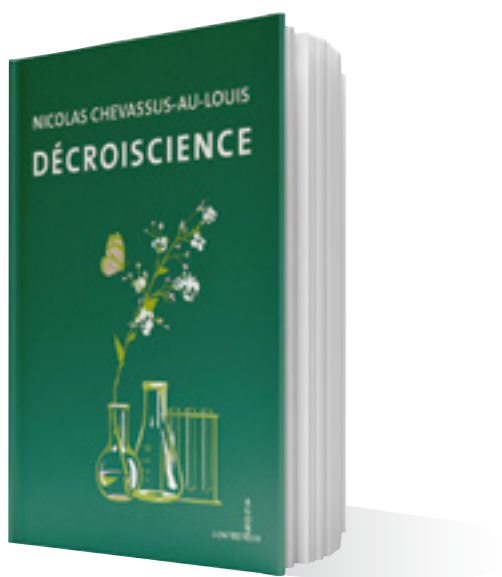


PODCASTS

Savoirs+

Porté par France Culture, **le label Savoirs+** propose une large bibliothèque de podcasts de savoirs produits par de grandes institutions de recherche et de culture. Vous pouvez y écouter les 15 épisodes du podcast de l'Inserm Les Volontaires et partir à la rencontre de citoyens et citoyennes qui contribuent à la recherche médicale dans les laboratoires de l'Institut.

radiofrance.fr/savoirs-plus



LIVRE

Décroissance

Nicolas Chevassus-Au-Louis,
août 2025, Agone, 272 p., 17€

Épris de rationalité, amoureux des sciences, le journaliste Nicolas Chevassus-Au-Louis pose une question qui lui serait apparue incongrue il y a encore quelques années. Ne faudrait-il pas brider les sciences, et se résoudre à, parfois, ne pas savoir, tant la recherche scientifique semble aujourd'hui si souvent contribuer au désastre en cours ? Une question qui mérite d'être posée...

ANNIVERSAIRE

40 ans de la Cité des sciences

Née le 13 mars 1986, la Cité des sciences et de l'industrie de Paris fêtera cette année ses 40 ans ! Pour cet anniversaire, elle nous propose d'inventer « la Cité de demain », avec des rendez-vous à ne pas manquer : cycle de conférences, week-end festif et créatif, livre anniversaire inédit, événements...

Programme complet : cite-sciences.fr



Le livre anniversaire de la Cité des sciences paraîtra aux éditions Eyrolles en mai 2026.

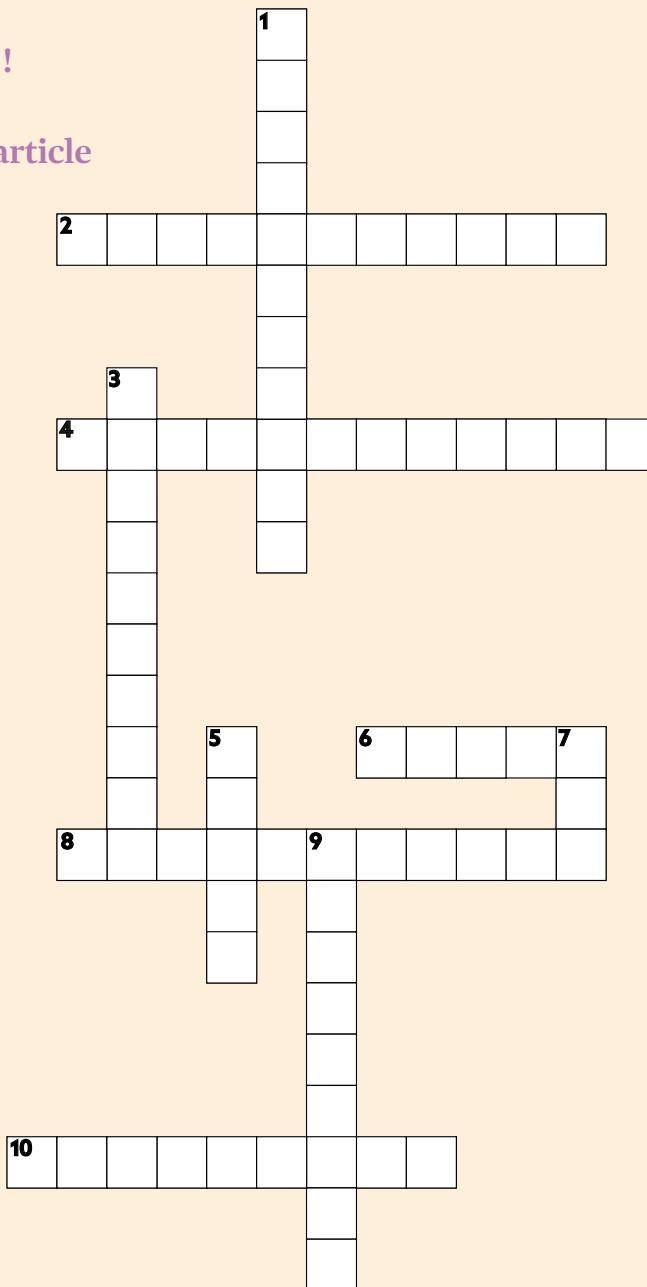
Allez, c'est la fin du magazine, on se détend !
Des mots croisés, ça vous dit ?
Chaque terme à trouver est en lien avec un article
du magazine. Encore faut-il l'avoir bien lu...

Verticalement

- 1. Qui vit dans les cavernes
- 3. Structure cérébrale ou cheval de mer
- 5. Séquences codantes des gènes
- 7. Acide désoxyribonucléique
- 9. Muqueuse utérine

Horizontalement

- 2. État léthargique pendant plusieurs mois
- 4. Très faible pesanteur
- 6. Poisson mexicain
- 8. Perception maternelle
- 10. Aussi appelé « crise cardiaque »



Réponses du numéro précédent (67) :
1. Générative 2. Dyspraxie 3. Prion 4. Mitochondrie 5. PEAS
6. Chronomédecine 7. Xénogreffe 8. Proprioception
9. Exosome 10. Mélanome

Retrouvez les réponses dans le prochain numéro.

#68 Mars 2026

Écrire à la rédaction :
redaction-mag@inserm.fr
S'abonner gratuitement :
magazine.inserm.fr
Écrire au service abonnement :
abonnement-mag@inserm.fr
Consulter les archives :
ipubli.inserm.fr

Inserm - 101, rue de Tolbiac
75654 Paris Cedex 13
inserm.fr



Directeur de la publication Didier Samuel
Directrice de la rédaction Carine Delrieu
Directrice adjointe de la rédaction Priscille Rivière
Rédacteurs en chef Lucile André, Yann Cornillier

Première secrétaire de rédaction, cheffe de rubrique Marie-Charlotte Ferran
Secrétaire de rédaction, rédactrice Annie Metais
Ont collaboré à ce numéro Kheira Bettayeb, Julie Coquart, Flora

Danan, Françoise Dupuy Maury, Alexandra Foissac, Pascal Nguyen, Julie Paysant, Simon Pierrefixe, Aude Rambaud
Conception graphique et direction artistique Primo&Primo
Archives

disponibles sur ipubli.inserm.fr
Crédit de couverture Illustration : Chloé Ménager
Impression Aubin
Imprimeur N° ISSN 2610-3869 (imprimé), 2534-5397 (en ligne)
Dépôt légal Mars 2026

Imprimé sur du papier issu de forêts durablement gérées et de sources contrôlées, 100% PEFC, fabriqué en France, sans fibres recyclées. Eutrophisation : PTot = 0,01 kg/tonne

La science, CQFD.



> Disponible sur
le site et l'appli
Radio France.

16H – 17H
DU LUNDI
AU JEUDI

Natacha
Triou

En partenariat avec

Inserm

La science pour la santé
From science to health



L'esprit
d'ouver-
ture

Polluants chimiques

Un poison quotidien ?



Une émission
de l'Inserm

Mardi 2 juin 2026 – 19 h

Sur la chaîne YouTube de l'Inserm

PFAS, bisphénol, phtalates, glyphosate... ces polluants chimiques, utiles mais potentiellement dangereux, sont partout dans notre quotidien. Quels risques pour notre santé et comment s'en protéger ?

INVITÉS :

- **Robert Barouki**, médecin, toxicologue, directeur de l'institut Santé publique de l'Inserm, Paris ;
- **Xavier Coumoul**, professeur de toxicologie et de biochimie, responsable de l'équipe Metatox (Inserm/Université Paris Cité), Paris ;
- **Claire Philippat**, épidémiologiste en santé environnementale, chercheuse à l'Institut pour l'avancée des biosciences (Inserm/Université Grenoble Alpes), Grenoble.

Inserm

Les émissions 30 minutes santé sont en replay sur la chaîne YouTube Inserm.

Credits photo : Adobe Stock