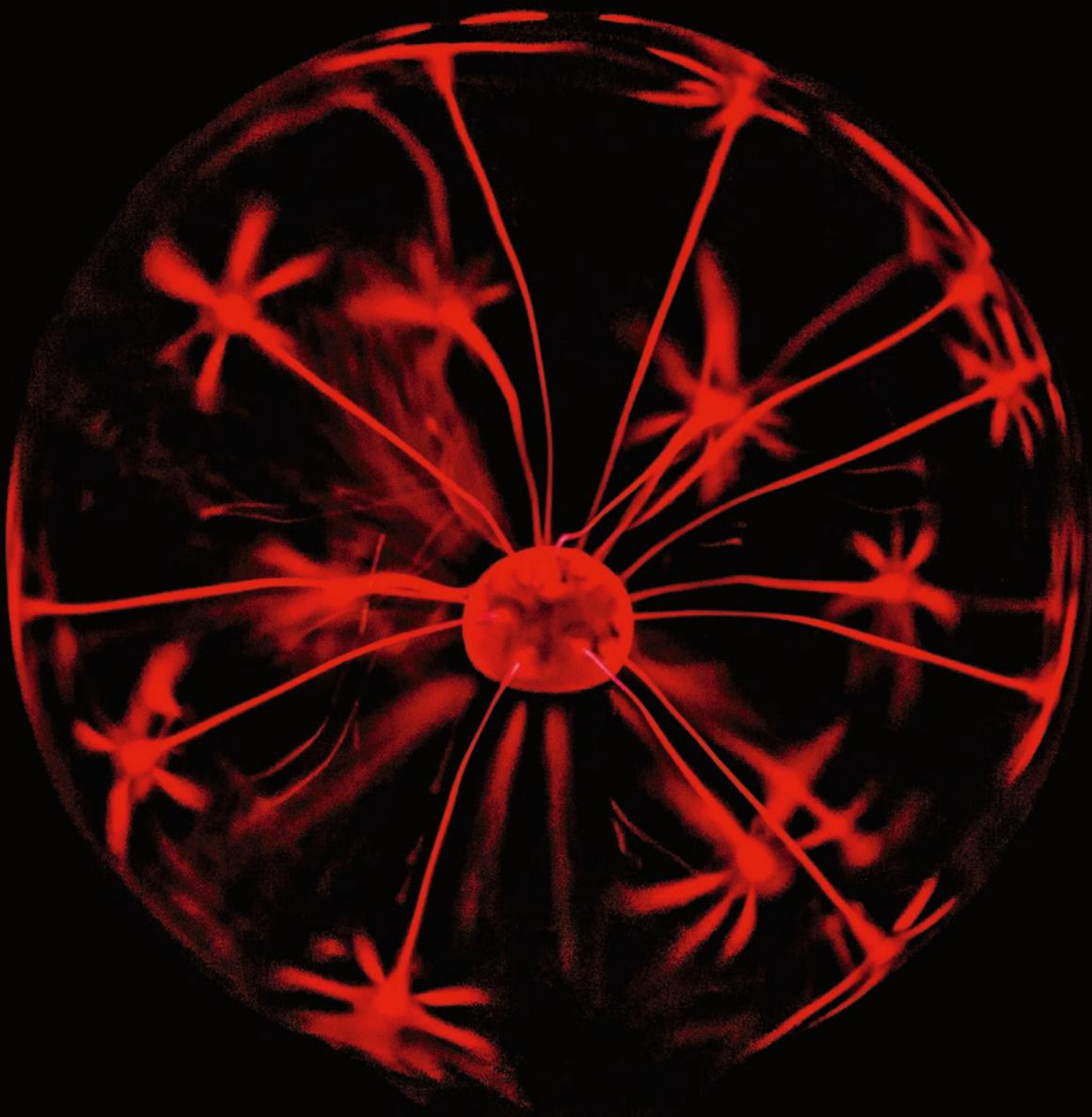


Trimestriel n° 322  
DÉCEMBRE 2025

# CNRS

## LE JOURNAL



**BIOCHIMIE**  
Des bactéries  
mangeuses de PFAS

**DOSSIER**  
**Santé des femmes,**  
**le grand oubli**

**PHILIPPE AGHION**  
Un économiste  
français nobélisé

**ACCORDS DE PARIS**  
Dix ans après,  
des résultats mitigés



# AGENTS DE LA FONCTION PUBLIQUE, CHEZ NOUS, VOUS ÊTES CHEZ VOUS.

Près de 2 millions de Sociétaires ont choisi de nous faire confiance. Parce que nous connaissons bien les besoins des agents de la Fonction publique : première affectation, déménagement suite à une mutation, achat immobilier<sup>(1)</sup> et pour tous les autres moments de la vie qui comptent, la CASDEN se tient toujours à vos côtés.

**casden**   
BANQUE POPULAIRE

La banque coopérative  
de la Fonction publique

Rendez-vous sur [casden.fr\\*](http://casden.fr) ou retrouvez-nous chez

BANQUE  POPULAIRE

\*Coût de connexion selon votre opérateur.

<sup>(1)</sup>Offre soumise à conditions et dans les limites fixées par l'offre de crédit, sous réserve d'acceptation de votre dossier par l'organisme prêteur, la CASDEN Banque Populaire. Pour le financement d'une opération relevant des articles L 313-1 et suivants du code de la consommation (crédit immobilier), l'emprunteur dispose d'un délai de réflexion de 10 jours avant d'accepter l'offre de crédit. La réalisation de la vente est subordonnée à l'obtention du prêt. Si celui-ci n'est pas obtenu, le vendeur doit rembourser les sommes versées.  
CASDEN Banque Populaire – Société Anonyme Coopérative de Banque Populaire à capital variable – Siège social : 1 bis rue Jean Wiener 77420 Champs-sur-Marne – Siren n° 784 275 778 – RCS Meaux – Immatriculation ORIAS n° 07 027 138 • BPCE – Société anonyme à directoire et conseil de surveillance au capital de 207 603 030 euros. • Siège social : 7, promenade Germaine Sablon 75013 PARIS – Siren n° 493 455 042 – RCS Paris – Immatriculation ORIAS n° 08 045 100 • Conception : •becoming• • Crédits photos : SolAir • Illustrations : © Frédéric Rébena • Document à caractère publicitaire et sans valeur contractuelle. Ne pas jeter sur la voie publique.

# CNRS

## LE JOURNAL

**Rédaction :**

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

**Téléphone :** 01 44 96 40 00**E-mail :** lejournal@cnrs.fr**Le site internet :** <https://lejournal.cnrs.fr>**Anciens numéros :**<https://lejournal.cnrs.fr/numerous-papiers>**Directeur de la publication :**

Antoine Petit

**Directeur de la communication :**

Jérôme Guilbert

**Directeur de la rédaction :**

Saman Musacchio

**Rédactrice en chef :**

Laure Cailloux

**Rédacteur en chef adjoint :**

Yaroslav Pigenet

**Chefs de rubrique :**

Mehdi Harmi, Marina Julianne

**Rédacteurs :**

Fanny Bleuneval, Maxime Lerolle, Laurence Stenvot

**Ont participé à ce numéro :**

Stéphanie Arc, Lydia Ben Ytzhabk, Kheira Bettayeb, Sylvie Dauvillier, Grégory Fléchet, Mathieu Grousson, Gaël Hautemulle, Martin Koppe, Francis Lecompte

**Secrétaire de rédaction :**

Fabien Maréchal

**Directeur artistique :**

David Faure

**Iconographes :**

Anne-Emmanuelle Héry, Sophie Léonard et Valérie Delchambre

**Gestionnaire :**

Mathieu Chatellier

**Assistant de direction :**

Frédéric Roman

**Impression :**Roto France Impression  
25 rue de la Maison Rouge, 77185 Lognes

ISSN 2261-6446

Dépôt légal : à parution

Photos CNRS disponibles à :  
contact-médiathèque@cnrs.fr  
<https://images.cnrs.fr>

La reproduction intégrale ou partielle des textes et des illustrations doit faire obligatoirement l'objet d'une demande auprès de la rédaction.

**En couverture :**Champ électrique d'une lampe à plasma.  
© Cyril Frézillon / ARN / CNRS Images

**Vous travaillez au CNRS et souhaitez recevoir CNRS LE JOURNAL dans votre boîte aux lettres ?**

Abonnez-vous gratuitement sur :  
[» lejournal.cnrs.fr/abojournal](https://lejournal.cnrs.fr/abojournal)

Suivez l'actualité de la recherche avec le CNRS



# L

e CNRS est fortement engagé dans la lutte contre les discriminations à l'égard des femmes, notamment en ce qui concerne leur carrière scientifique. Cet engagement s'accompagne d'une réflexion et de recherches approfondies sur les discriminations dont les femmes sont victimes dans de nombreux domaines, et plus particulièrement dans celui de la santé. Ces inégalités sont le produit conjugué de deux types de biais : les biais de genre, par lesquels la société instaure une hiérarchie sociale et culturelle injustifiée entre les hommes et les femmes, et les biais de sexe, qui conduisent à ignorer ou à mal prendre en compte les spécificités biologiques des femmes, considérées comme des « humains génériques ».

La conjonction de ces biais a des conséquences profondes sur les recherches en biologie et en biomédecine. En façonnant la manière dont la science se pense et se pratique, ces biais ont conduit à sous-estimer, voire à effacer, la physiologie féminine. Longtemps, les expériences et les essais cliniques ont été menés majoritairement sur des individus mâles – humains ou non. Le postulat implicite selon lequel « ce qui est vrai pour les hommes l'est aussi pour les femmes » a ainsi guidé la recherche biomédicale, avec des conséquences néfastes. Certaines pathologies qui concernent plus particulièrement – voire exclusivement – les femmes ont suscité moins d'intérêt de la part des scientifiques, que ce soit en matière de recherche fondamentale ou clinique. D'autres ont été étudiées principalement à partir de modèles masculins, conduisant à des diagnostics tardifs ou inadaptés pour les patientes.

De surcroît, la parole des femmes, reflétant leur ressenti face à la douleur ou à la maladie, a été minimisée, disqualifiée ou ignorée, contribuant à leur invisibilisation et renforçant les inégalités de santé.

Reconnaitre et corriger ces biais est aujourd'hui une nécessité scientifique autant qu'éthique. Il est indispensable que les spécificités biologiques et sociales soient des sujets d'études approfondies, et soient intégrées dès la conception des programmes de recherche fondamentale et clinique.

C'est pourquoi le CNRS plaide pour que la prise en compte du sexe biologique et du genre devienne un réflexe scientifique, dès les phases de recherche fondamentale et tout au long du processus expérimental. Le CNRS soutient aussi la légitimité des chercheuses à travailler dans tous les domaines de la science. Une telle démarche permettra non seulement d'éviter les erreurs d'interprétation, mais aussi d'enrichir la compréhension des mécanismes du vivant et de garantir des avancées médicales réellement bénéfiques à l'ensemble de la population.

La science n'est jamais totalement neutre : elle reflète les sociétés qui la produisent. En documentant et intégrant pleinement la question des biais liés au sexe, la recherche devient plus juste et plus universelle – à l'image de la mission du CNRS, qui œuvre pour une science au service de la société et de la connaissance partagée.

Muriel Altabef,  
déléguée scientifique  
à CNRS Biologie,  
membre du Comité  
parité-égalité du CNRS



Jean-Louis  
Vercher,  
coprésident du Comité  
parité-égalité du CNRS



© COLL. PERS.



# GRAND FORMAT

11

Santé des femmes, le grand oubli .....	12
Le corps féminin négligé par la recherche .....	14
Ces maladies qui touchent davantage les femmes .....	19
Une parole peu entendue .....	22
Des bactéries mangeuses de PFAS .....	24
Dix ans après, un accord de Paris aux résultats mitigés .....	30

6



Philippe Aghion décroche  
le Nobel d'économie



52  
Les futurs du travail



60  
Cervantès, un influenceur  
à la Renaissance

## EN PERSONNE

5

Philippe Aghion décroche le Nobel d'économie .....	6
Les nouveaux visages de l'innovation .....	8
Brèves .....	10

## EN ACTION

35

Manger sain, d'Hippocrate au Nutri-score .....	36
Recyclage du plastique, une solution en trompe-l'œil .....	40
« Beaucoup d'animaux comprennent la mort » .....	42
Comment La Réunion s'adapte aux crues .....	46
D'une astronomie populaire à l'astrophysique .....	48
Les futurs du travail .....	52
Les Centres internationaux de recherche face aux défis planétaires .....	55

## LES IDÉES

59

Cervantès, un influenceur à la Renaissance .....	60
Les IA pensent-elles vraiment à nous ? .....	62
À lire .....	65

## LA CHRONIQUE

Un parlement pour la recherche .....	66
--------------------------------------	----

## **EN PERSONNE**

*« Je suis devenu économiste parce que je voyais bien que l'économie de marché représentait le meilleur moyen de sortir un maximum de gens de la pauvreté. À condition, bien sûr, d'y adjoindre un modèle social pleinement inclusif. »*

# Philippe Aghion décroche le Nobel d'économie

## Quels travaux votre prix Nobel récompense-t-il ?

**Philippe Aghion**<sup>1</sup> Avec Peter Howitt, colauréat, nous avons proposé une nouvelle théorie de la croissance. À nos débuts, le modèle dominant était le modèle néoclassique de Robert Solow (prix Nobel 1987), qui fait reposer la croissance sur l'accumulation de capital : la richesse produite est réinvestie, par exemple dans l'achat de nouvelles machines, qui à leur tour accroissent la production... Problème : on augmente beaucoup moins la production en passant de 9 à 10 machines que de 0 à 1, d'où des rendements décroissants... Il manquait un élément pour expliquer la croissance : le progrès technique.

En 1987, nous avons mis « l'innovation par la destruction créatrice », inspirée de l'économiste Joseph Schumpeter, au cœur de notre modèle. En clair, la croissance de long terme n'est possible que grâce à l'innovation dite « cumulative » : chaque innovateur bâtit sur les innovations précédentes, avec la perspective de pouvoir en tirer des rentes. Il faut aussi de la destruction créatrice, autrement dit que de nouveaux talents viennent constamment défier les innovateurs d'hier.

Seulement voilà : les innovateurs, une fois installés, ont tendance à utiliser les profits qu'ils ont tirés de leur invention pour empêcher l'entrée de nouveaux acteurs. Pour que la

**RÉCOMPENSE** Théoricien de la croissance par l'innovation, l'économiste a reçu le 13 octobre le prix Nobel d'économie, avec le Canadien Peter Howitt et l'historien américano-israélien Joel Mokyr. Il est le cinquième Français à décrocher cette distinction créée en 1969.

PROPOS RECUEILLIS PAR GAËL HAUTEMULLE ET LAURE CAILLOCE

destruction créatrice fonctionne, il faut donc un ingrédient supplémentaire : une politique de concurrence.

## Au cœur de la croissance par l'innovation, il y a donc un paradoxe... Comment le résout-on ?

**P. A.** Une croissance basée sur l'innovation ne peut fonctionner que si l'État joue pleinement son rôle de facilitateur et de régulateur. C'est crucial. Pour que le cycle de l'innovation puisse durer, l'État doit entretenir et réguler la concurrence, afin d'éviter ces rentes de situation qui empêchent l'irruption de nouveaux innovateurs. Son rôle va plus loin, car il doit veiller à offrir un socle éducatif de bonne qualité (pour former de nouveaux Albert Einstein et Marie Curie) et à maintenir l'ascenseur social en état de marche.

Depuis que nous l'avons formalisée, cette nouvelle théorie de la croissance endogène a été très largement validée par les données empiriques, au point qu'elle est devenue le modèle de croissance de référence dans le monde aujourd'hui. Ce qui est

intéressant, c'est qu'elle explique aussi certaines énigmes économiques du passé – qui sont d'ailleurs au cœur des travaux de mon confrère Joel Mokyr.

## Quelles énigmes du passé votre théorie éclaire-t-elle ?

**P. A.** Elle explique bien pourquoi le décollage industriel du début du XIX<sup>e</sup> siècle a eu lieu en Europe plutôt qu'en Chine, où les innovations étaient pourtant nombreuses. L'Europe, elle, avait des universités, *L'Encyclopédie*, l'imprimerie, la poste, qui ont favorisé l'innovation cumulative.

De plus, depuis la Révolution française et Napoléon, ou bien encore la Glorieuse Révolution britannique, la protection des droits de la propriété intellectuelle a créé les conditions pour que les innovateurs puissent tirer profit de leurs inventions – contrairement à ce qui s'est passé en Chine, où le concept de propriété intellectuelle n'existe pas. Enfin, la concurrence entre les pays européens a encouragé la destruction créatrice...



© YANN CASTANIER / HANS LUCAS / HANS LUCAS VIA AFP

### Et plus récemment ?

**P. A.** Elle explique la relative stagnation de la croissance américaine qui a suivi la vague des technologies de l'information. Cette révolution numérique a été rendue possible par les Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft. Qui, devenus tentaculaires, ont découragé l'entrée de nouveaux acteurs. Ainsi, aux États-Unis, la croissance a été forte de 1995 à 2005, avant de décroître brutalement.

D'autres pays ont eu des « croissances jusqu'à mi-chemin » : ils ont d'abord réalisé un rattrapage technologique, mais qui a favorisé l'émergence de conglomérats. Ceux-ci ont ensuite fait pression sur les gouvernements pour ne pas faciliter la concurrence. Cela fut le cas en Corée, au Japon, mais aussi en Europe qui, après avoir connu une période de forte croissance pendant les Trente Glorieuses, peine à passer du rattrapage à l'innovation de rupture high-tech.

### L'intelligence artificielle peut-elle être cette innovation de rupture ?

**P. A.** L'IA a un grand potentiel de croissance, car elle automatise non seulement des tâches dans la production

## « Mon obsession, c'est la pauvreté, pas les riches. »

des biens et des services, mais aussi dans la production des idées. Seul hic : le cloud est aujourd'hui dominé par Amazon, Microsoft et Google. Idem pour le marché des processeurs graphiques dits GPU (*graphics processing unit*). Là encore, il y a danger que ces Gafam découragent l'entrée de nouvelles entreprises innovantes, d'où l'urgence de réformer les politiques de concurrence et d'obliger les entreprises à partager davantage leurs données. Tout cela figure d'ailleurs dans les conclusions du rapport de la Commission de l'intelligence artificielle que j'ai remis, avec Anne Bouvierot, à Emmanuel Macron en mars 2024.

**Comment votre théorie de la croissance par l'innovation s'applique-t-elle à la croissance dite « verte », autre champ de vos recherches ?**

**P. A.** On ne pourra pas lutter contre le changement climatique sans innovation verte. L'innovation verte, c'est d'abord changer nos comportements, mais également la mise en œuvre de nouvelles technologies : des innovations d'atténuation des effets du réchauffement climatique (sources d'énergie moins polluantes), d'adaptation (digues, systèmes moins énergivores d'air conditionné) et d'amélioration. Grâce au progrès technique, notre monde n'est peut-être pas aussi fini que l'on pense.

**Une question plus personnelle : comment le militant communiste que vous avez été est-il devenu le théoricien de l'économie de marché et de la croissance ?**

**P. A.** Je suis le fils d'émigrés égyptiens et grecs, j'ai été militant communiste pendant 10 ans, dans mes jeunes années. Mais je me suis aperçu que l'économie planifiée, telle qu'elle était pratiquée dans les pays du bloc soviétique, ne fonctionnait pas. Je me destinais à être professeur de mathématiques... Je suis devenu économiste parce que je voyais bien que l'économie de marché représentait le meilleur moyen de sortir un maximum de gens de la pauvreté. À condition, bien sûr, d'y adjoindre un modèle social pleinement inclusif.

Aujourd'hui, je me considère comme un social-démocrate. Mon obsession, c'est la pauvreté, pas les riches. J'ai été marxiste et suis devenu un « schumpétérien social ». Joseph Schumpeter, qui a inspiré la théorie de la croissance pour laquelle je suis récompensé aujourd'hui, s'était lui-même fortement inspiré du livre III du *Capital* de Karl Marx... **II**

1. Philippe Aghion enseigne l'économie au Collège de France et à l'Insead. Il est professeur invité à la London School of Economics et membre associé à Paris Jourdan sciences économiques (UMR8545).

**Alda Mari**DÉTECTOR L'URGENCE  
SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

**Et si l'analyse linguistique aidait à sauver des vies ?** Alda Mari, directrice de recherche à l'Institut Jean Nicod<sup>1</sup>, est une spécialiste de la sémantique formelle. « Cette discipline se concentre sur la manière dont le langage sert à décrire le monde, ou plutôt les mondes : le monde actuel et les mondes possibles », explique la chercheuse, reconnue pour ses travaux sur la distinction entre vérités objective et subjective.

« Il y a des conditions de vérité dans tout ce que l'on dit », souligne Alda Mari. Mais, tandis que la vérité objective est universelle et ne dépend pas du point de vue de l'observateur, celle qui est dite « subjective » varie en fonction des biais et de la perspective de celui-ci.

Dans ses travaux avec des informaticiens, la linguiste modélise et formalise les distinctions linguistiques fines entre vérités objective et subjective. « Au cœur du langage se trouve une logique qui est commune avec la logique mathématique », assure la chercheuse. En 2017, elle a répondu à un appel à projet lancé par le ministère de l'Intérieur. Objectif : imaginer un outil permettant de détecter les situations d'urgence exprimées sur les réseaux sociaux. « C'est une notion

# Les nouveaux visages de l'innovation

**Alain Wagner**METTRE LA CHIMIE  
AU SERVICE DU VIVANT

« Mon travail consiste à étudier l'interaction entre le vivant et le monde de la réaction chimique », décrit Alain Wagner, chercheur au laboratoire

Chémo-biologie synthétique et thérapeutique<sup>1</sup> de Strasbourg. Il y développe de nouvelles approches afin de mieux comprendre et de modifier les systèmes biologiques. Un vrai casse-tête, admet-il : « Toute la difficulté réside dans le fait qu'en milieu biologique, la réactivité chimique est différente de celle qu'on observe en chimie organique. Ici, l'environnement nous est dicté, et nous devons en permanence ajuster la réactivité chimique afin d'atteindre nos objectifs ». Avec l'équipe Chimie BioFonctionnelle qu'il codirige, il s'intéresse notamment aux associations anticorps-médicaments (*antibody-drug conjugates*, ou ADC). Ces vecteurs très prometteurs sont constitués d'une molécule毒ique pour les cellules liée à un anticorps capable de véhiculer l'ensemble vers les cellules cancéreuses, afin de les détruire.

En 2014, Alain Wagner a cofondé Syndivia, une start-up qui développe des ADC plus efficaces. Et il est à l'origine de quatre autres sociétés, dont eNovalys, créée en 2009, pour proposer aux chimistes des outils d'IA permettant d'explorer les conditions de réaction idéales pour leurs expériences. Plus récemment, il a cofondé MicroOmix, afin d'analyser les anticorps sécrétés par chaque cellule et d'isoler ceux qui sont d'intérêt pour l'industrie pharmaceutique, ouvrant notamment la voie à de nouvelles thérapies basées sur les anticorps. Ses travaux pionniers ont déjà été récompensés par le prix Sequens et la médaille Berthelot de l'Académie des sciences en 2021. ■

difficile, car le mot "urgent" est rarement mentionné, comme dans la phrase : "Ma fille est sous les décombres". Il est alors nécessaire de déceler les points de vue des locuteurs », détaille Alda Mari.

Avec la chercheuse Farah Benamara, de l'Institut de recherche en informatique de Toulouse<sup>2</sup>, elle a donc créé le logiciel Intact, capable d'analyser ces messages afin de détecter les signaux d'alerte dans le cadre de crises écologiques et de permettre la mobilisation rapide des secours. ■

**1.** IJN, unité CNRS/EHESS/ENS-PSL. **2.** Irit, unité CNRS/Toulouse INP/Université de Toulouse (EPE).

**1.** CBST, unité CNRS/Université de Strasbourg.

Linguistique, biologie, chimie, photonique quantique : les médailles de l'innovation du CNRS 2025 distinguent quatre scientifiques passionnés de recherche aussi bien fondamentale qu'appliquée. Portraits.

PAR THOMAS ALLARD  
PHOTOS CYRIL FRÉSILLON / CNRS IMAGES

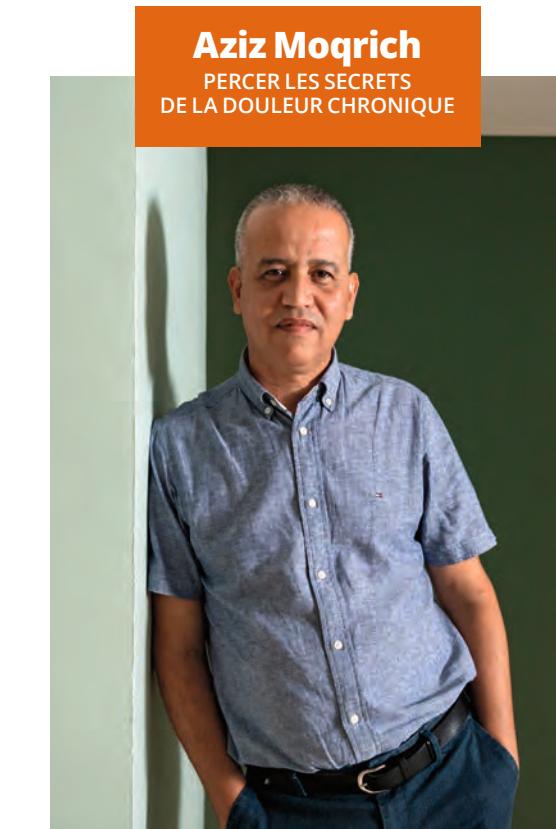
## Pascale Senellart

CONCEVOIR LE PROCHAIN CALCULATEUR QUANTIQUE



« L'étude des photons soulève des enjeux scientifiques et technologiques incroyables », s'enthousiasme Pascale Senellart. La directrice de recherche au Centre de nanosciences et de nanotechnologies<sup>1</sup> s'appuie sur ces petits grains élémentaires de lumière ainsi que sur les « boîtes quantiques », des nanostructures capables de générer ces derniers sur commande. Avec son équipe, elle est parvenue à concevoir des sources qui émettent des photons uniques dans une direction précise.

Ces travaux, récompensés par la médaille d'argent du CNRS en 2014, ont attiré l'attention des scientifiques qui travaillent dans le quantique, et pour cause : les photons



## Aziz Moqrish

PERCER LES SECRETS DE LA DOULEUR CHRONIQUE

**Verra-t-on un jour émerger des médicaments antidouleur à la fois efficaces et dénués d'effets secondaires graves ?** Depuis 20 ans, les travaux d'Aziz Moqrish, directeur de recherche CNRS à l'Institut de biologie du développement de Marseille<sup>1</sup>, tournent autour de cette question. Car, déplore-t-il, « actuellement, les molécules les plus efficaces restent les opioïdes, mais avec des effets secondaires sévères, y compris un risque élevé d'addiction ».

Aziz Moqrish s'est lancé sur une piste : celle de la mystérieuse protéine TAFA4. Cette molécule, qu'il a identifiée pour la première fois en 2007, est l'une des pièces fondamentales de notre système nerveux périphérique pour atténuer les douleurs. « Dès qu'une lésion survient, TAFA4 permet de calmer l'hyperactivité des neurones stimulés par la lésion », détaille le chercheur.

Reste à imaginer comment cet analgésique naturel pourrait être administré. Pour cela, Aziz Moqrish a cofondé en 2020 la start-up Tafalgie Therapeutics, forte de 26 salariés. « Nous sommes parvenus à identifier plusieurs composés dérivés de TAFA4. Ils conservent le même pouvoir antalgique que la protéine native, sans effets secondaires notables. »

L'entreprise a démarré les premiers tests chez des volontaires sains, mais aussi chez des patients ayant subi des chirurgies. Résultats attendus courant 2026. En parallèle, le chercheur garde un pied dans la recherche fondamentale, à laquelle il consacre près de 60 % de son temps. Il a été récompensé par le prix SATT impact en 2022 et par le Grand prix de la recherche du département des Bouches-du-Rhône en 2024. ■

1. C2N, unité CNRS/Université Paris-Saclay.

1. IBDM, unité CNRS/Aix-Marseille Université.



© CYRIL FRESILLON / CNRS IMAGES

## François Pouget, nouveau directeur général délégué aux ressources

Nommé par Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, pour une prise de fonction en janvier 2026, François Pouget sera chargé du pilotage de la politique administrative et financière de l'établissement. Il

prolongera l'action dirigeante du P-DG dans le domaine des ressources humaines et financières. Diplômé d'un master en économie internationale et d'un doctorat de sciences économiques, François Pouget s'illustre depuis plus de 15 ans par son expertise en pilotage et gestion des organisations dans différents secteurs d'activité et politiques publiques. Depuis 2021, il occupait le poste de secrétaire général du Samu social de Paris, organisme de lutte contre la précarité en Île-de-France. Il succède à Christophe Coudroy, nommé conseiller maître en service extraordinaire à la Cour des comptes depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2025.



© COLL. PERS.

## Claire Ferras, directrice de cabinet de la présidence

Claire Ferras, ingénierie de recherche hors échelle CNRS, est nommée directrice de cabinet d'Antoine Petit à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2026. Juriste de formation, elle a occupé de 2010 à 2017 la fonction de directrice adjointe administrative de l'INS2I (CNRS sciences informatiques), puis, de 2017 à 2025, celle de directrice adjointe administrative de CNRS Biologie. Elle succède à **Marie-Pauline Gacoin**, nommée directrice générale de CNRS Éditions.

## Céline Bellard,

### prix A3 du rayonnement scientifique

L'Association des anciens et amis du CNRS récompense cette année Céline Bellard, écologue et directrice de recherche à l'université Paris-Saclay. Spécialiste des effets combinés du changement climatique et des espèces invasives sur la biodiversité, elle développe des indicateurs à grande échelle pour orienter les politiques de conservation. Ce prix rappelle le rôle stratégique de la recherche fondamentale face à l'effondrement du vivant.



© GWENDOLINE CHOPINNEAU

## Sanae Hamdaoui devient cheffe de cabinet de la présidence

Sanae Hamdaoui a démarré sa carrière professionnelle dans la coordination de régies et le management de services d'accueil pour de grands comptes institutionnels. C'est au cours d'une de ces missions qu'elle découvre le CNRS, en 2017. Elle assure alors la coordination de l'équipe d'accueil en contrat au siège parisien, rue Michel-Ange, avant d'intégrer l'équipe du cabinet de la présidence, en 2019. Elle prend la responsabilité du poste de cheffe de cabinet, rôle clé au cœur de la vie de l'établissement qui assure tout à la fois la réactivité et le contrôle qualité de l'agenda du P-DG, ainsi que la fluidité de ses interactions internes et externes.

## Martin Oheim reçoit le prix Claude Pompidou

Directeur de recherche à l'Institut des neurosciences Paris Saint-Pères (unité CNRS/Université Paris Cité), Martin Oheim s'est vu attribuer le prix de la Fondation Claude Pompidou pour ses travaux sur la maladie de Parkinson. Grâce à des techniques inédites d'imagerie 3D, son équipe explore le rôle de l'intestin dans l'origine de la pathologie, ouvrant la voie à un diagnostic précoce. Doté de 100 000 €, le prix permettra de renforcer les équipements du laboratoire et de développer une imagerie biphotonique ultrarapide destinée aux cliniciens.



© COLLECTION PERSONNELLE

# GRAND FORMAT

## GRAND FORMAT

« Aussi surprenant que cela puisse paraître, les grandes questions scientifiques autour de la cardiologie, des maladies neurodégénératives, ou encore de l'obésité ont principalement été explorées à partir de groupes d'individus masculins. »



© NADEZDA GRAPES / ISTOCK.COM



# Santé des femmes, le grand oubli

SOCIÉTÉS



VIVANT



En santé aussi, les femmes sont victimes des inégalités de genre. Alors que la recherche s'est intéressée tardivement aux spécificités du corps féminin face aux maladies, les essais sur les médicaments commencent à peine à se féminiser... La parole des patientes, en revanche, reste peu entendue des professionnels de santé. Enquête.

DOSSIER COORDONNÉ PAR LAURE CAILLOCE

# Le corps féminin négligé par la recherche

**Q**uiconque a déjà lu la notice d'un médicament a pu être surpris qu'aucune préconisation en fonction du sexe n'y soit mentionnée, à l'exception de celle destinée aux femmes enceintes. Loin d'être anodine, cette lacune témoigne du désintérêt de la médecine moderne pour le sexe féminin.

«*Jusqu'à une époque pas si lointaine, les femmes étaient considérées comme des hommes en plus petit*, raconte Colette Denis, chercheuse en pharmacologie à l'Institut des maladies métaboliques et cardio-vasculaires de Toulouse. *En dehors de l'appareil reproducteur et du cycle menstruel, il était communément admis, au sein de la communauté scientifique, qu'il n'existait pas de différences notables entre les physiologies féminine et masculine.*»

Cette vision réductrice, largement entretenu par des institutions médicales dirigées exclusivement par des hommes, a servi pendant de très nombreuses années à légitimer l'absence des femmes dans le champ de la recherche en santé. «*Aussi surprenant que cela puisse paraître, les grandes questions scientifiques autour de la cardiologie, des maladies neurodégénératives, ou encore de l'obésité ont principalement été explorées à partir de groupes d'individus masculins*», confirme Carina Prip-Buus, directrice de recherche CNRS à l'Institut Cochin<sup>1</sup>, où elle étudie les différentes fonctions métaboliques.

## Une exclusion des essais thérapeutiques

Selon cette même logique de simplification, les femmes ont été exclues des essais thérapeutiques destinés à évaluer l'efficacité, mais aussi la possible toxicité des nouveaux médicaments. En 1977, aux États-Unis, la Food & Drug Administration (FDA, Agence des produits

*Jusqu'à une époque pas si lointaine, les femmes étaient considérées comme des hommes en plus petit par la communauté scientifique.*

De la recherche fondamentale aux études cliniques, les biais de genre imprègnent l'ensemble du secteur biomédical. Biologistes et médecins s'efforcent désormais de considérer les spécificités féminines dans le diagnostic et le traitement des maladies.

PAR GREGORY FLECHET

alimentaires et médicamenteux) a purement et simplement décidé d'interdire leur participation à ces études, à la suite de deux grands scandales sanitaires survenus entre la fin des années 1950 et le début des années 1970.

Le premier impliquait le thalidomide, un médicament antinauséeux prescrit aux femmes enceintes qui causa de graves malformations chez des milliers de nouveau-nés. Le second concernait le Distilbène destiné à prévenir les fausses couches et ayant engendré cancers et anomalies génitales chez les futures mères et leur descendance.

Mais si écarter les femmes des essais cliniques partait d'une intention louable, cette mesure a empêché la détection d'effets secondaires liés au sexe. Or on sait aujourd'hui que les femmes réagissent très différemment des hommes à la prise de médicaments. Non seulement ces molécules agissent plus longtemps chez elles, mais elles entraînent beaucoup plus d'effets indésirables.

«*Ce déséquilibre est lié au fait que leur concentration dans le sang et le temps d'élimination de la plupart des molécules pharmaceutiques sont plus élevés chez les femmes, ce qui tendrait par ailleurs à accentuer le risque de toxicité*», précise Colette Denis.

Pour certains médicaments commercialisés dans les années 1970, lorsque les femmes représentaient moins de 10 % des individus inclus dans les études cliniques, les conséquences ont pu être dramatiques. L'affaire du Mediator, mis sur le marché par le laboratoire Servier, en est le parfait exemple. Destiné à traiter le diabète de type 2, ce médicament a très vite été détourné de son usage initial pour être prescrit aux femmes désireuses

<sup>1</sup>. Unité CNRS/Inserm/Université Paris Cité. En 2014, les États-Unis sont le premier pays à imposer le sexe en tant que «variable biologique à étudier», conditionnant l'obtention de financements publics à l'inclusion des femmes dans les essais cliniques.

Réalisation d'un électrocardiogramme chez une patiente.

© FG TRADE /ISTOCK BY GETTY

de perdre du poids. Or la prise de Mediator par ces patientes a entraîné des valvulopathies cardiaques qui n'avaient pas pu être mises en évidence lors des essais cliniques, puisque les femmes étaient quasi absentes des cohortes. Bilan : 2 000 décès rien qu'en France – des femmes, presque exclusivement.

### Évolution des pratiques

Les temps changent, heureusement. Longtemps réticent à inclure des femmes dans les essais thérapeutiques, au prétexte que le cycle menstruel et les fluctuations des taux d'hormones dans leur organisme faussaient l'interprétation des résultats scientifiques, le milieu médical consent depuis une vingtaine d'années à faire évoluer ses pratiques. Premiers à changer de pied, les National Institutes of Health (NIH), équivalents américains de l'Inserm, ont décidé de lever ces restrictions dès 1993.

Aujourd'hui, face à la pression croissante des organismes scientifiques, dont la plupart conditionnent désormais l'octroi de financements à l'incorporation systématique de femmes dans les études cliniques<sup>2</sup>, la parité entre les deux sexes y est de mieux en mieux respectée.

# 9,6%

C'est la mortalité à l'hôpital des femmes victimes d'infarctus. Elle est de 3,9 % chez les hommes.

Une avancée que tempère toutefois Colette Denis à propos des maladies cardio-vasculaires et infectieuses : « Les études menées sur les arythmies cardiaques regroupent par exemple moins de 30 % de femmes, alors que celles-ci représentent entre 50 et 60 % des patients en fonction de l'âge

considéré. En ce qui concerne les maladies infectieuses, les essais sur les antirétroviraux destinés au traitement du VIH n'incluent que 19 % de femmes, alors qu'elles constituent 32 % des personnes vivant avec ce virus en Europe et jusqu'à 55 % en Afrique subsaharienne. Or la sous-représentation des femmes dans ces essais cliniques limite la possibilité de mettre au point des protocoles de traitements adaptés à leurs spécificités biologiques et physiologiques. »

L'absence des femmes dans les essais thérapeutiques n'est que la partie émergée d'un problème bien plus profond : en amont, la recherche a fait preuve d'un véritable désintérêt pour le fonctionnement et la santé du corps féminin.

### Infarctus : retard à la prise en charge

L'infarctus du myocarde constitue un cas d'école. On l'a longtemps considéré comme un risque touchant majoritairement les hommes. Or il concerne aussi les femmes.



Et, étant moins bien détecté chez celles-ci, il occasionne plus de décès dans la population féminine.

En France, selon un récent rapport<sup>3</sup> de l'Académie nationale de médecine, la mortalité hospitalière s'élève à 9,6 % chez les femmes victimes d'infarctus, contre 3,9 % chez les hommes. En cause, une méconnaissance des symptômes lorsqu'ils se manifestent chez les femmes.

« Alors qu'une douleur aiguë dans la poitrine ou une paralysie du bras gauche sont des signes avant-coureurs typiquement masculins de l'infarctus du myocarde, certaines femmes peuvent exprimer des symptômes très différents – comme une vague douleur dans le dos ou des troubles digestifs accompagnés parfois de vomissements – que les médecins ont encore du mal à identifier en tant que tels », regrette Colette Denis.

Résultat, après un infarctus du myocarde, la prise en charge d'une femme s'effectue en moyenne avec un retard de 30 minutes par rapport à celle d'un homme. Et le délai pour arriver à une revascularisation coronaire est également plus long chez les patientes, en raison des difficultés de diagnostic rencontrées par les services d'urgence.

### Plus sensibles à la douleur

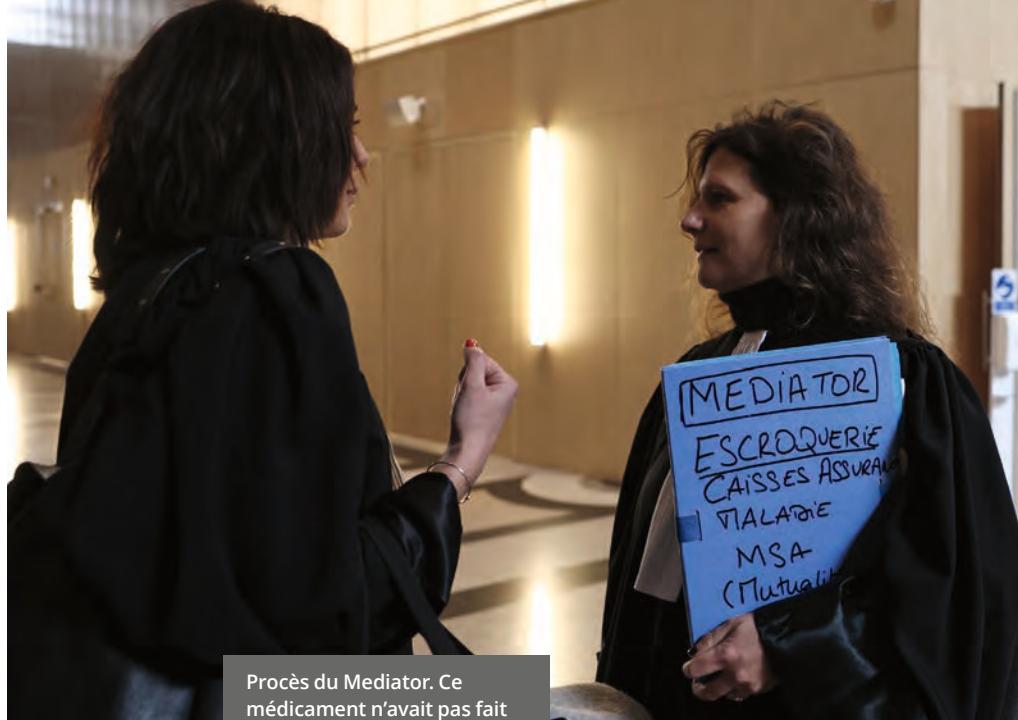
Pour d'autres pathologies, le personnel soignant peut, à l'inverse, accorder trop d'importance au sexe du patient. Chez la femme, les symptômes résultant de maladies inflammatoires de l'intestin sont ainsi régulièrement confondus avec des douleurs gynécologiques.

Cette subjectivité dans le diagnostic s'applique aussi à la fibromyalgie, une affection caractérisée par des

Les notices des médicaments ne comportent pas d'indications concernant les femmes – dosage ou effets secondaires.



© P. JUGOLLE / IMAGE POINT FR / BSIP



Procès du Mediator. Ce médicament n'avait pas fait l'objet d'études cliniques chez les femmes, auxquelles il a été massivement prescrit.

douleurs musculaires ou articulaires permanentes. Reconnu comme maladie chronique par l'Organisation mondiale de la santé depuis 2019, le syndrome fibromyalgique concerne 2 % de la population française, dont une très grande majorité de femmes. L'un des premiers signes de la fibromyalgie étant une fatigue générale, beaucoup de médecins ont encore tendance à banaliser ce symptôme ou à lui accorder peu de crédit dès lors qu'il est décrit par une femme.

Les fondements biologiques de cette maladie sont pourtant bien réels. Mais, à l'image des céphalées chroniques, le syndrome fibromyalgique a la particularité de se manifester par des douleurs nociplastiques (qui ne sont pas occasionnées par des lésions tissulaires visibles).

« Entre 80 et 90 % des différentes formes de douleurs nociplastiques sont uniquement observées chez les femmes, pointe Yannick Goumon, chargé de recherche Inserm à l'Institut des neurosciences cellulaires et intégratives (INCI) du CNRS, à Strasbourg. Cette surreprésentation pourrait s'expliquer par une différence de concentration de certains neurotransmetteurs dans le cerveau féminin, conduisant à une perception accrue de la douleur. »

### Affections gynécologiques : les oubliées

S'il est un domaine médical où les symptômes propres aux femmes demeurent largement sous-évalués, quand ils ne sont pas purement et simplement ignorés, c'est sans conteste celui des affections gynécologiques : syndrome des ovaires polykystiques, endométriose, fibrome utérin, cancer du col de l'utérus ou des ovaires...

Une expression atteste d'ailleurs le peu d'intérêt du monde de la santé pour le sujet des maladies féminines :

<sup>3</sup>. Voir : [tinyurl.com/infarctus-ANM](http://tinyurl.com/infarctus-ANM)

la « médecine bikini ». Apparue dans les années 1980, elle désigne les seules parties du corps féminin qui intéressent alors la médecine : les seins et l'appareil生殖器. La cardiologue américaine Nanette Wenger, à l'origine de ce concept un brin provocateur, souhaitait ainsi dénoncer une approche médicale construite autour de la norme du corps masculin.

Parmi les pathologies exclusivement féminines, l'endométriose reste celle dont le diagnostic est le plus difficile à établir en raison notamment des nombreuses expressions que peut prendre cette maladie. Caractérisée par la prolifération de tissus semblables à la muqueuse utérine en dehors de l'utérus, l'endométriose ne bénéficie pour l'heure daucun traitement spécifique, alors même que 1 femme sur 10 en

âge de procréer serait concernée par cette affection.

« Le fait de considérer l'endométriose comme une pathologie à part entière, et non plus comme un symptôme psychologique ou dépressif, comme l'ont longtemps envisagé les médecins, contribue aujourd'hui au développement de projets de recherche qui permettent d'améliorer la détection des femmes les plus à risque de développer cette maladie à l'origine de douleurs parfois très invalidantes », se félicite Carina Prip-Buus. Dans les années à venir, la stratégie nationale de lutte contre l'endométriose, lancée en 2022

© THOMAS SAMSON / AFP

## L'expression « médecine bikini » atteste le peu d'intérêt du monde de la santé pour les maladies féminines.

par l'État français, devrait contribuer à réduire l'errance médicale des femmes souffrant de ce mal, grâce à la mise en place de filières de soin dédiées.

### Des progrès à petits pas

L'avènement d'une médecine prenant en considération les particularités féminines se décide très en amont du parcours de soins. Cela implique en premier lieu de mobiliser les laboratoires de recherche étudiant la physiologie humaine à l'aune de modèles animaux (souris, rats, lapins). Or la prise en compte du sexe dans ces travaux n'en est encore qu'à ses balbutiements.

Par exemple, au niveau de l'Union européenne, il a fallu attendre 2020 pour voir apparaître les premières recommandations visant à considérer les deux sexes dans les études menées chez l'animal, mais aussi à partir d'échantillons tissulaires d'origine humaine. Et l'aspect sexuel n'est pris en compte que depuis 2022 dans les demandes de financement adressées à l'Agence nationale de la recherche.

Peu de gens le savent : les signes de l'infarctus ne sont pas semblables chez les femmes et chez les hommes.



© NICOLAS GUIGONNET / HANS LUCAS via AFP

## *Le sexe est de plus en plus considéré comme une variable biologique à part entière dans les travaux de recherche.*

Le progrès, s'il est lent, est bien réel. Sous l'impulsion de certaines revues scientifiques, le sexe est de plus en plus considéré comme une variable biologique comme une autre dans les travaux de recherche. Il en va ainsi des mécanismes physiopathologiques de la douleur, qui sont au centre des travaux de Yannick Goumon.

« Il y a encore une dizaine d'années, 80 % des études sur la douleur étaient uniquement effectuées sur des cohortes de rongeurs mâles, rappelle le neurobiologiste. Mais, depuis 2018-2019, une majorité de publications scientifiques imposent aux chercheurs de travailler simultanément sur les deux sexes, car on s'est aperçu que les études incluant à la fois des mâles et des femelles étaient les seules à même de déceler des variations intersexuelles concernant la sensibilité à la douleur, ou l'effet analgésique de certains médicaments. »

« La décision d'exclure les rongeurs femelles des études de physiologie relevait avant tout d'une forme de paresse méthodologique, poursuit le scientifique. Les expérimentateurs redoutaient en effet que l'intégration de femelles vienne complexifier l'interprétation des résultats en raison de leurs fluctuations hormonales. » Bien qu'infondé, cet argument justifia, des années durant, l'éviction des animaux femelles de ces études fondamentales.

### Des rongeurs femelles dans les études

Mais y réintroduire des individus femelles à part égale des mâles n'est pas sans soulever de nouvelles questions. D'aucuns estiment que la constitution de groupes de rongeurs mélangeant mâles et femelles impliquerait de devoir multiplier par deux les effectifs des cohortes – ce qui va à l'encontre des règles actuelles encadrant la recherche et visant à la réduction des effectifs des animaux en laboratoire. Une

crainte largement infondée, selon Colette Denis : « Les biostatisticiens qui prennent part à la conception de nos expérimentations disposent aujourd'hui de tests statistiques qui permettent d'obtenir des résultats scientifiquement exploitables sur des cohortes incluant les deux sexes, sans que cela nécessite de doubler la taille globale de l'échantillon. »

Dans la perspective d'inclure davantage d'animaux femelles dans la recherche *in vivo* et de diffuser cette pratique aux études précliniques des médicaments, un groupe de chercheurs anglo-saxons a récemment mis au point une interface numérique à l'approche novatrice, le Sex Inclusive Research Framework. Conçue à la manière d'un arbre décisionnel, elle permet à l'expérimentateur de vérifier s'il est éthiquement acceptable d'exclure l'un des deux sexes de son étude. Dans le cas contraire, toute une série de recommandations sont adressées au chercheur pour l'aider à inclure des individus mâles et femelles dans son protocole expérimental.

« Ce nouvel outil d'aide à la décision, destiné aussi bien aux scientifiques qu'aux organismes de financement et aux comités d'éthique, témoigne d'une réelle volonté de renforcer la lutte contre les préjugés sexuels dans le domaine de la recherche biomédicale », veut croire Carina Prip-Buus. Pour saisir enfin les spécificités du corps féminin à tous les stades de la recherche biomédicale. //



Les National Institutes of Health, aux États-Unis, ont été les premiers à inclure plus de femmes dans leurs essais cliniques, dès les années 1990.

© NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES/NIH



© FRED FROESE / ISTOCK.COM

La maladie d'Alzheimer concerne 1 million de personnes en France, dont 60 % de femmes.

# Ces maladies qui touchent davantage les femmes

Alzheimer, les maladies auto-immunes, mais aussi certains cancers sont plus fréquents, voire plus sévères, chez les femmes que chez les hommes. Pourquoi ? Les chercheurs sont sur la piste de plusieurs explications.

PAR KHEIRA BETTAYEB

**L**e grand public le sait peu : certaines pathologies potentiellement graves sont plus fréquentes chez la femme que chez l'homme, voire plus sévères. Comprendre les mécanismes moléculaires à l'origine de ces différences s'avère crucial pour développer des thérapies adaptées au sexe du patient.

Les maladies auto-immunes font ainsi partie des pathologies qui affectent davantage les femmes. C'est le cas de la sclérose en plaques, qui touche le cerveau et la moelle épinière, et peut induire des troubles visuels, des douleurs et des problèmes de motricité ; de la polyarthrite rhumatoïde, une maladie inflammatoire à l'origine notamment de douleurs, raideurs et gonflements articulaires ; ou encore du lupus, qui peut provoquer douleurs articulaires, éruptions cutanées ou atteintes graves des reins. Comme leur nom l'indique, ces maladies sont dues à une

immunité trop forte qui se retourne contre l'individu en ciblant ses propres tissus et organes : la myéline (la gaine qui protège les fibres nerveuses) pour la sclérose en plaques ; les articulations dans le cas de la polyarthrite rhumatoïde ; divers organes (articulations, peau, reins, poumons...) pour le lupus, etc.

« Les femmes ont tendance à avoir des réponses immunes plus robustes que les hommes, décrypte la biologiste Céline Morey, qui étudie les causes des biais de sexe dans les maladies auto-immunes au sein du laboratoire Épigénétique et destin cellulaire<sup>1</sup>. Cela leur permet de mieux répondre aux vaccins et d'être globalement plus résistantes à différents types de pathogènes tels que virus ou bactéries. » Mais cette immunité forte a un revers de médaille : une prédisposition accrue aux maladies auto-immunes, puisque 80 % des patients concernés par ces pathologies sont des femmes.

### Chromosomes XX et immunité XXL

En 2024, Céline Morey et ses collègues ont démontré l'implication d'un phénomène biologique appelé « inactivation du chromosome X ». Deux chromosomes sexuels déterminent le sexe d'une personne : le chromosome X et le Y. Les personnes de sexe masculin ont un seul X (et un Y), celles de sexe féminin en ont deux (XX). Or ce chromosome, plus grand que le Y, est connu pour être riche en gènes impliqués dans le système immunitaire.

Dès le début du développement embryonnaire et tout au long de la vie adulte, l'un de ces X est réprimé aléatoirement dans chacune des cellules des femmes. C'est le processus d'inactivation du chromosome X, qui remet à égalité les deux sexes en termes du nombre de gènes exprimés sur le X.

Cependant, certains gènes échappent à cette inactivation de façon partielle ou totale... Ce qui pourrait contribuer à une surexpression de plusieurs gènes impliqués dans l'immunité et rendrait celle-ci trop réactive.

© PIXELOUXE /ISTOCK.COM



Maladie auto-immune, le vitiligo se caractérise par l'apparition de taches blanches sur la peau.

Pour vérifier cette thèse, Céline Morey et ses collègues ont provoqué chez des souris femelles des défauts d'inactivation d'un des deux X. Lesquels ont notamment touché des gènes de la famille des récepteurs Toll-like (TLR), connus pour contribuer à l'apparition de maladies auto-immunes lorsqu'ils sont suractivés. Le résultat ne s'est pas fait attendre : les rongeurs ont développé des signes d'inflammation typiques du lupus, comme l'augmentation de la taille de la rate et du nombre de certaines cellules immunitaires dans le sang.

Prochaine étape pour les chercheurs : tenter d'identifier précisément les gènes qui, lorsque leur inactivation est levée, contribuent aux symptômes du lupus. « Cibler ces séquences génétiques pourrait diminuer la gravité de cette maladie ou éviter son apparition chez les femmes », estime la chercheuse. Une stratégie qui pourrait aussi s'appliquer à d'autres maladies auto-immunes.

### Covid long et menstruations

Touchant environ 4 % des Français, le Covid long est défini comme une persistance de symptômes au-delà de trois mois après l'infection. Fatigue, essoufflement, difficulté à se concentrer, douleurs musculaires... Globalement, ses symptômes sont les mêmes chez la femme et chez l'homme. À une différence près : chez la femme, il provoque également des règles plus abondantes ou plus longues. C'est ce que vient de révéler une vaste étude conduite sur plus de 12 000 femmes britanniques par Alexandra Alvergne, de l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier\*. « Ces règles anormales pourraient être

liées à la surproduction de la 5α-dihydrotestostérone, une hormone impliquée dans la production et la migration des cellules de l'endomètre, la muqueuse qui tapisse l'utérus, lors des menstruations, explique la scientifique. Et elles pourraient être exacerbées par une réaction inflammatoire. En effet, nos analyses montrent une augmentation de la production de molécules favorisant l'inflammation pendant les menstruations de ces femmes touchées par le Covid long. » Reste désormais à établir rigoureusement le lien de cause à effet.

\* Unité CNRS/Université de Montpellier/IRD/EPHE/CIRAD/INRAP.

### Le rôle des hormones sexuelles

Un autre type de maladies liées à une immunité trop forte affecte particulièrement les femmes : les allergies - où le système immunitaire attaque des substances à la base inoffensives telles que cacahuète, œuf, poisson, pollen, poussière.... Depuis quelques décennies, la fréquence de ces maladies explose et touche désormais 25 à 30 % de la population.

## *Les femmes tendent à avoir des réponses immunes plus robustes que les hommes, ce qui peut se retourner contre elles.*

L'équipe de Sophie Laffont-Pradines, immunologue à l'Institut toulousain des maladies infectieuses et inflammatoires<sup>2</sup>, s'intéresse à l'asthme allergique. Cette inflammation de la muqueuse des bronches pulmonaires déclenchée par des allergènes induit essoufflement, toux, difficultés respiratoires et respiration sifflante. « *Avant la puberté, les garçons sont davantage affectés par cette pathologie, expose la biologiste. Puis, à l'âge adulte, elle touche deux fois plus de femmes que d'hommes. De plus, les femmes développent des formes plus sévères.* »

L'origine de cette inversion de tendance ? Les travaux de Sophie Laffont-Pradines et de ses collègues pointent les androgènes, des hormones dites souvent « mâles », dont le taux augmente à la puberté chez les garçons, mais pas chez les femmes. Lors de deux études récentes portant respectivement sur la souris et sur des patients asthmatiques, les chercheurs ont mis en évidence que les androgènes protègent de l'asthme allergique en inhibant directement la prolifération et les fonctions d'une population de cellules immunitaires cruciales dans la réaction inflammatoire sous-tendant cette maladie : les cellules lymphoïdes innées de type 2.

Ce résultat indique que les hormones sexuelles semblent jouer un rôle plus important qu'imaginé jusqu'alors dans les biais de sexe en santé... Et apporte un espoir : « *Le développement de molécules capables de mimer l'action des androgènes – en se fixant sur leur récepteur cellulaire – pourrait mener à des traitements capables de diminuer la fréquence et la sévérité de l'asthme allergique chez les femmes* », explique la chercheuse.

### Des cancers plus sévères

Mais il n'y a pas que les maladies liées à une immunité suractivée. Certains cancers considérés jusqu'à présent comme non hormono-dépendants (c'est-à-dire non favorisés par les hormones sexuelles) seraient en réalité influencés par ces dernières.

C'est ce que viennent confirmer de récents travaux de Véronique Delmas et Lionel Larue, biologistes au laboratoire Signalisation, radiobiologie et cancer<sup>3</sup>. Les scientifiques ont analysé l'incidence de 24 cancers dans 185 pays. Constat : entre la puberté et la ménopause, une période où les femmes sont soumises à de forts taux

d'œstrogènes (hormones féminines), pas moins de 13 cancers sur 24 sont plus fréquents chez les femmes que chez les hommes du même âge.

« *C'est le cas notamment du mélanome, le cancer de la peau le plus grave, mais aussi des cancers de la thyroïde, de l'estomac, ou encore de la glande salivaire*, précise Véronique Delmas. Ainsi, les femmes âgées entre 20 et 54 ans ont jusqu'à deux fois plus de risques de développer un mélanome que les hommes du même âge. »

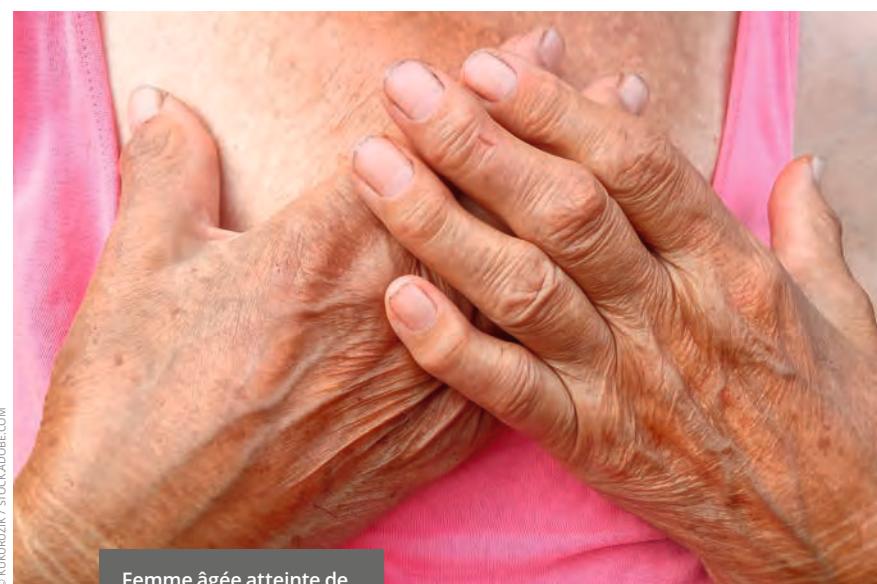
Les chercheurs ont également découvert une cascade de réactions biochimiques jusqu'alors inconnue, qui lie les œstrogènes à l'augmentation du risque de dissémination des tumeurs – et donc d'aggravation de ces cancers. « *Cibler ce mécanisme régulé par les hormones féminines pourrait ouvrir la voie à de nouvelles approches thérapeutiques* », espère Véronique Delmas.

Deuxième maladie la plus crainte par les Français après le cancer, la maladie d'Alzheimer, causée par une lente dégénérescence des neurones, touche 1 million de Français, dont 60 % de femmes, selon la Fondation recherche Alzheimer. Au cours de leur vie, les femmes auraient environ deux fois plus de risques de développer cette maladie responsable d'une détérioration progressive de la mémoire, du langage et des capacités cognitives. Parmi les explications explorées par la recherche : la moindre capacité de la microglie féminine (un ensemble de cellules formant le système immunitaire du cerveau) à lutter contre la formation des plaques d'amyloïde, ces dépôts qui s'accumulent entre les neurones et empêchent leur bon fonctionnement.

Si les premiers résultats sont encourageants, la recherche sur les maladies présentant des biais de sexe ne fait que commencer. //

# 80%

des personnes  
souffrant de maladies  
auto-immunes  
sont des femmes



© KUKURUZIK / STOCKADOBLE.COM

Femme âgée atteinte de polyarthrite rhumatoïde.

1. EDC, unité CNRS/Université Paris Cité.

2. Infinity, unité CNRS/Inserm/Université de Toulouse (EPE).

3. CNRS/Institut Curie/Inserm/Université Paris-Saclay.



© FATCAMERA / ISTOCK.COM

L'écoute moins attentive dont bénéficient les femmes pourrait parfois aller jusqu'à l'erreur médicale, comme le montrent des recherches en cours.

# *Une parole peu entendue*



La parole des femmes n'est guère écoutée par le monde médical, qui tend à sous-estimer la gravité de leurs symptômes. La sociologue Muriel Darmon décrypte les biais de genre qui influent sur l'écoute et sur la prise en charge qu'elles reçoivent.

PROPOS RECUEILLIS PAR STÉPHANIE ARC

**Selon une récente étude de la Fondation hospitalière de France, 51 % des femmes estiment que leurs symptômes ont déjà été minimisés par un professionnel de santé<sup>1</sup>. Leur parole serait-elle moins bien entendue que celle des hommes ?**

**Muriel Darmon<sup>2</sup>** Elle est en tout cas reçue d'une façon moins efficace par les professions médicales, d'après les études menées au sein de Gendhi, le projet de recherche sur les inégalités de genre en santé que je copilote. Lorsque les femmes expriment leurs symptômes, les médecins ont en

effet tendance à les minimiser ou à les renvoyer à une cause psychologique (stress, crise d'angoisse, dépression...).

Leurs symptômes sont souvent expliqués par autre chose que par la pathologie réelle. Ainsi, un certain nombre de femmes qui ont fait un infarctus ou un AVC ont pu s'entendre dire : « *Calmez-vous, reposez-vous, on verra après...* » Elles sont donc confrontées à des pratiques de relativisation, de découragement et de psychologisation de leurs maux. Cette écoute moins attentive pourrait même aller jusqu'à l'erreur médicale, comme le montrent les travaux – en cours – de Maud Gelly<sup>3</sup> sur le genre de l'erreur médicale.

**N'est-ce pas en partie lié au fait que les spécificités de leurs pathologies sont moins bien connues ?**

**M. D.** Je ne me prononcerai pas à la place de mes collègues biologistes sur les spécificités du corps des femmes et de leurs pathologies. Ce que je peux dire en tant que sociologue, c'est que pendant longtemps, pour les médecins, l'infarctus a été une maladie d'hommes cadres de 50 ans, stressés au travail. Idem pour l'AVC. Cela amène à moins bien percevoir les cas féminins et à les concevoir comme étant « atypiques ». Ensuite, si les femmes ressentent certains symptômes de l'infarctus identiques à ceux des hommes, elles ont appris à repérer sur elles-mêmes un plus grand éventail de symptômes, plus ténus, discrets, là aussi éventuellement jugés « atypiques ». Parmi cette multitude qu'elles déclarent, les médecins ont plus de mal à reconnaître les symptômes classiques, car cela correspond moins au modèle qu'ils ont en tête.

#### Leur parole est-elle bien prise en compte par leur entourage ?

**M. D.** Malheureusement, non... Dans nos travaux, nous avons par exemple montré qu'en cas d'AVC de leur conjointe, les hommes vont beaucoup moins la pousser à appeler les urgences qu'elles ne le font pour eux. Tandis qu'elles ont une meilleure culture médicale et constituent de « bons témoins » des AVC masculins, les hommes connaissent moins les symptômes et savent moins ce qu'il faut faire (appeler le 15 au lieu d'y aller en voiture).

Parallèlement, nous avons aussi pu montrer que les femmes sont de mauvais témoins de leur propre AVC. Dans la BD où elle parle du sien<sup>4</sup>, Margot Turcat raconte que lorsqu'elle s'est sentie mal, avant de contacter les urgences, elle a pris une douche, s'est rasé les jambes et lavé les cheveux pour être « présentable » à l'hôpital. Elle a aussi appelé ses

**42%**  
des femmes  
témoignent que leurs  
symptômes physiques  
ont été attribués à des  
causes psychologiques  
ou hormonales.

(sondage Ipsos / Fondation hospitalière de France)

parents pour leur confier son bébé. Prises par le « piège » du *care*<sup>5</sup>, les femmes font passer la santé de leur famille en premier, parfois au prix de la leur.

#### Quelles sont les conséquences de ces pratiques sur leur état de santé ?

**M. D.** Cela a un impact majeur sur la prise en charge des pathologies dont le diagnostic ainsi que l'aiguillage dans le parcours de soins reposent sur la parole. C'est le cas des maladies de type cardio-vasculaire (infarctus ou AVC) ou neurologique, comme Alzheimer. Et cela en raison du délai de prise en charge des patientes : les femmes qui font un AVC arrivent trois fois plus tard aux urgences que les hommes. Cela explique pourquoi, si les femmes font moins d'AVC et d'infarctus que les hommes, elles en meurent plus. En cas d'AVC, elles récupèrent aussi moins bien.

#### Consulter des médecins femmes est-il un gage de meilleure écoute ?

**M. D.** Certaines études avancent que les généralistes femmes ont de meilleurs effets sur tous les patients, hommes et femmes. Mais elles prennent toujours en charge les hommes de façon plus efficace. En réalité, que les médecins soient homme ou femme, on peut repérer une moindre ambition collective à l'égard des femmes. Dans le cas d'Alzheimer, par exemple, il y a une tolérance plus grande pour leurs problèmes cognitifs de la part des médecins, qui vont considérer que des générations de femmes n'ont pas été scolarisées longtemps...

Il en va de même pour l'AVC : elles vont bénéficier de rééducations moins ambitieuses et plus courtes, parfois à leur propre demande, pour s'occuper des enfants ou « parce que

c'est trop dur ». Si les médecins doivent tenir compte de la pénibilité de la rééducation et des désirs formulés par les patientes, ce ne doit pas être au détriment de leurs capacités.

#### Les biais de genre jouent-ils par ailleurs sur les prescriptions médicales ?

**M. D.** En dépit des recommandations des autorités médicales très claires, anciennes et connues, il semble que les femmes ont moins de prescriptions médicamenteuses que les hommes, et des prescriptions moins dosées, à situation équivalente. Ce serait le cas pour les maladies coronariennes, l'insuffisance cardiaque, le diabète ou le cholestérol, et même la médecine cardio-vasculaire en général.

#### Y a-t-il tout de même des données positives ?

**M. D.** Bien sûr. Déjà, malgré ces biais, l'espérance de vie des femmes reste plus longue que celle des hommes et dépend moins de la classe sociale. Une des raisons est qu'elles ont un rapport plus régulier avec le monde médical, notamment pour des questions de santé féminine avec les accouchements, la gynécologie, mais aussi parce que ce sont elles qui prennent en charge la santé de leurs proches.

Ensuite, la profession médicale est désormais consciente des problèmes liés au genre. Les professionnels et professionnelles font plus régulièrement appel à nous, les sociologues, sur ces questions. J'ai été invitée à faire des conférences dans des facs de médecine, en pharmacie, dans des congrès médicaux, mais aussi dans de nombreux services hospitaliers. Nous sommes à un moment où sciences sociales, biologiques et médicales peuvent vraiment travailler ensemble pour la santé et le bien-être communs. //

1. Voir : [tinyurl.com/santedesfemmes](http://tinyurl.com/santedesfemmes) 2. Directrice de recherche au Centre européen de sociologie et de science politique de la Sorbonne (CESSP, unité CNRS/EHESS/Université Panthéon-Sorbonne). 3. Chercheuse au CESSP. 4. *Ça me prend la tête*, de Margot Turcat, Larousse, 2025. 5. Fait de prendre soin des autres.

VIVANT



**MICROBIOLOGIE** Molécules synthétiques quasi indestructibles, les PFAS sont largement utilisés dans les objets du quotidien. Mais ces milliers de composés inconnus dans la nature s'accumulent dans l'environnement et dans nos organismes. Comment s'en débarrasser ? Parmi les pistes explorées : la bioremédiation, qui veut éliminer les polluants à l'aide d'organismes vivants.

TEXTE PAR MEHDI HARMI

PHOTOS © CYRIL FRÉSILLON / ARN ET GMGM / CNRS IMAGES (SAUF N °5)

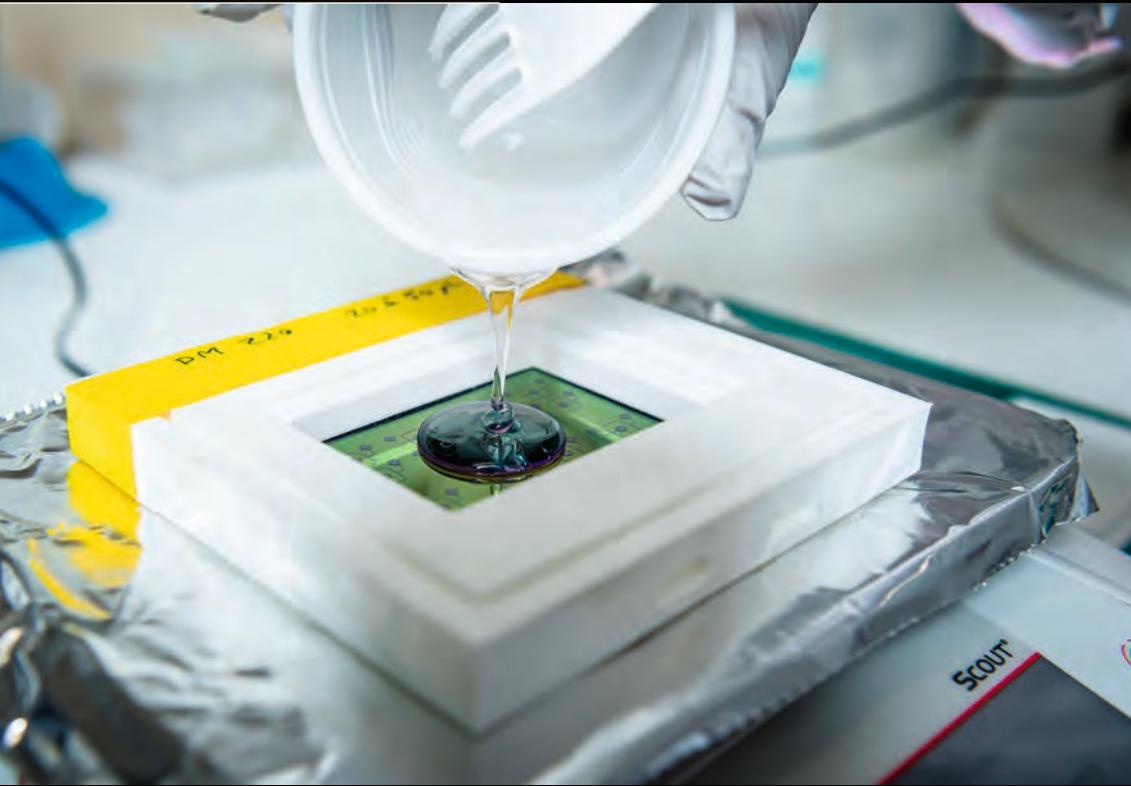


# Des bactéries mangeuses de PFAS



**1.** L'idée de se débarrasser des PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées, dites « polluants éternels ») grâce à des bactéries a éclos dans des laboratoires strasbourgeois. Il s'agit d'utiliser les propriétés enzymatiques<sup>1</sup> des bactéries pour briser la liaison chimique qui rend les PFAS aussi résistants à l'altération – la liaison carbone-fluor, l'une des plus fortes qui soit. Deux méthodes sont employées : la culture de bactéries en présence de PFAS sur boîte de Petri (photo) ; et le recours à la microfluidique pour réaliser cette culture dans des microgouttelettes, utilisées comme autant de tubes à essai miniatures.

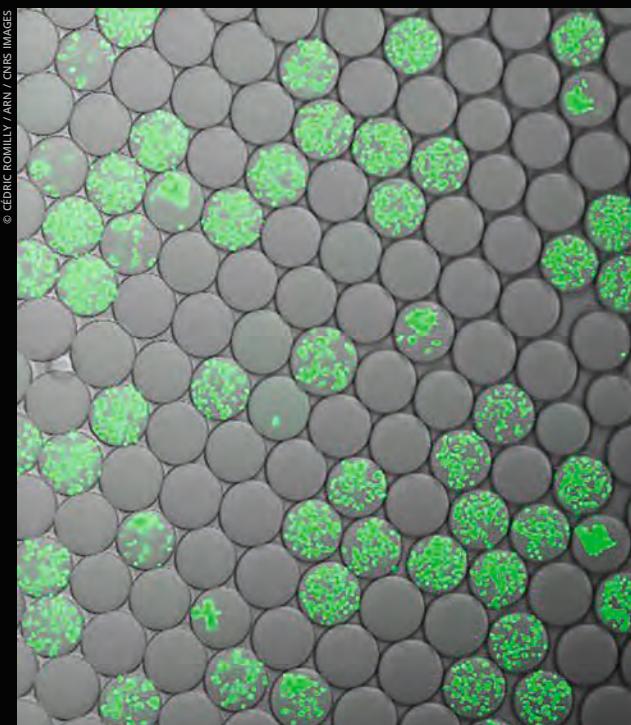
1. Enzyme : protéine qui, dans une cellule, facilite une réaction chimique.



**2.** Vouloir recourir aux bactéries pour dégrader des PFAS est une chose. Encore faut-il savoir lesquelles utiliser. Les chercheurs du laboratoire Architecture et réactivité de l'ARN (dirigé par Michaël Ryckelynck) se servent de puces microfluidiques moulées dans de la résine de silicone. On collecte d'abord de la terre ou de l'eau polluée aux PFAS; puis on récupère les bactéries présentes dans ces échantillons pour les mettre en culture dans des microgouttelettes. Lesquelles seront triées par les canaux extrêmement fins (de l'ordre du micromètre) des puces.

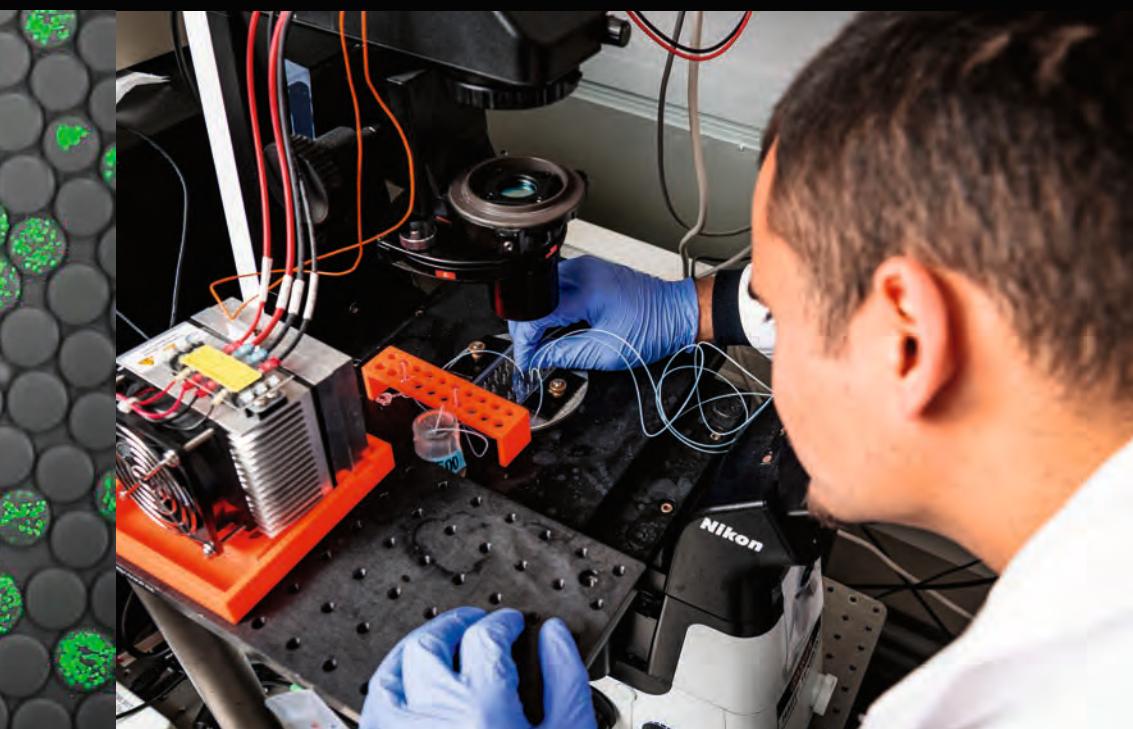


**3.** Le bloc de silicone est percé à différents endroits pour permettre le raccordement de la puce microfluidique à un appareillage dédié, notamment des tubulures qui achemineront les microgouttelettes chargées en bactéries dans les canaux de la puce. On peut ainsi analyser à haute cadence chacune de ces gouttelettes : contiennent-elles ou non des bactéries capables de produire les enzymes à même de dégrader les PFAS ?



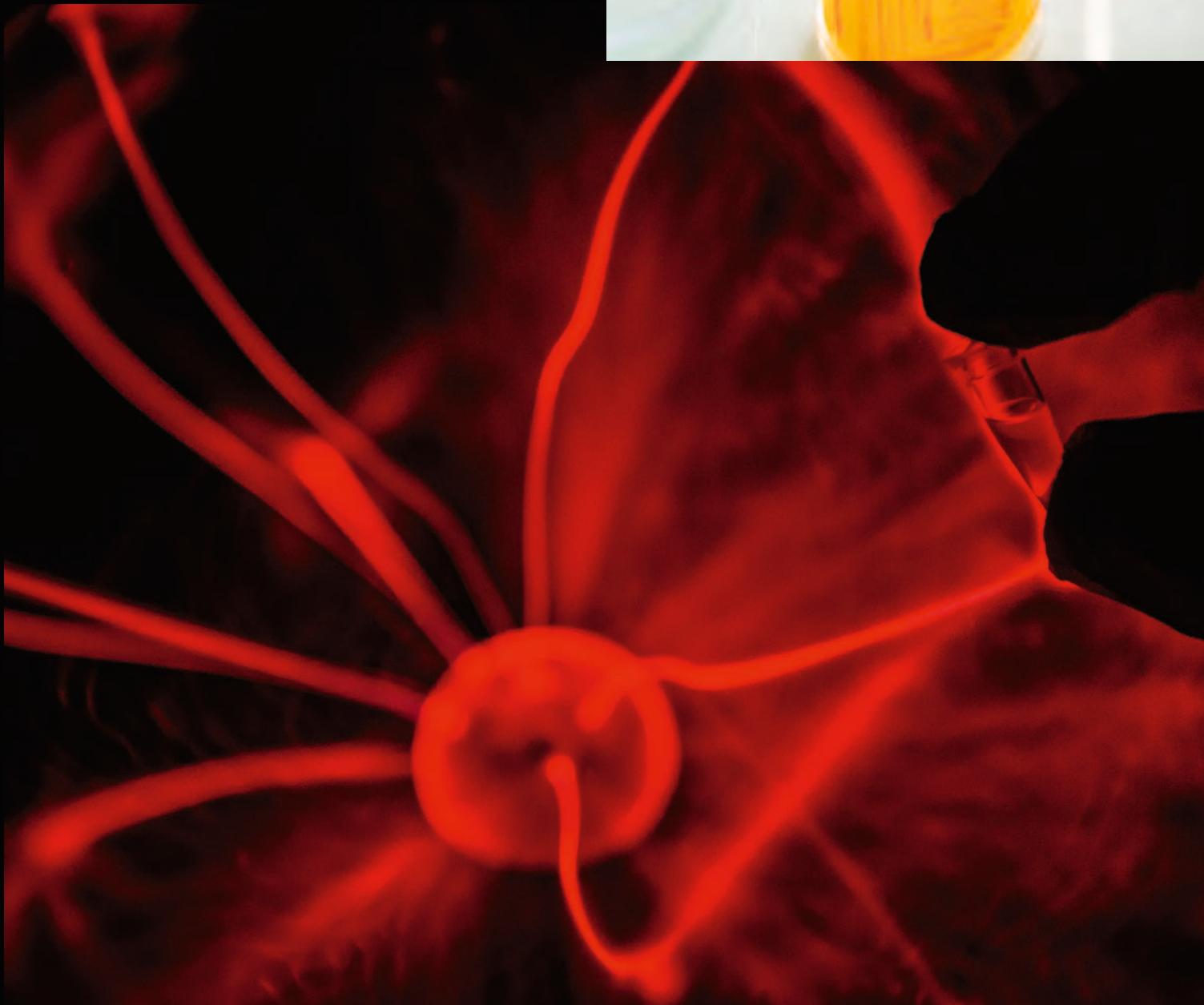


**4.** La dernière étape de fabrication de la puce microfluidique consiste à souder le bloc de résine de silicium à une plaque de verre, afin de rendre l'ensemble hermétique. Pour ce faire, le bloc de résine et la plaque sont placés dans un four à plasma pendant plusieurs minutes. Lorsque la « cuisson » est terminée, la puce microfluidique est prête à l'emploi.



**5 et 6.** Vient le moment de raccorder la puce microfluidique aux tubulures. Chaque gouttelette qui y est acheminée contient bactéries et PFAS issus d'échantillons d'eau ou de sols contaminés. Les scientifiques ajoutent au milieu de culture un ARN particulier – un aptamère, capable de déceler spécifiquement la présence d'ions de fluor (fluorure). Si fluorure il y a, la gouttelette devient verte fluorescente, signalant la rupture de la liaison carbone-fluor et, donc, la dégradation de PFAS. Grâce à la microfluidique, les scientifiques peuvent chaque jour cribler des millions de bactéries et espérer trouver l'aiguille dans la botte de foin.

**7.** Une fois le tri effectué, les chercheurs approchent les gouttelettes fluorescentes d'une lampe à plasma. Le champ électrique généré par celle-ci permet de « casser » les gouttelettes et de récupérer les bactéries intéressantes.





**8.** En parallèle à la microfluidique, l'approche plus classique de la culture cellulaire en boîte de Petri est utilisée au laboratoire Génétique moléculaire génomique microbiologie<sup>1</sup>, dans l'équipe dirigée par Stéphane Vuilleumier. Des échantillons d'eau ou de sols contaminés aux PFAS sont mis en suspension dans des milieux de culture liquides pour sélectionner les bactéries potentiellement capables de les dégrader. Ces cultures sont ensuite transférées sur un milieu solide. Le gel présent dans les boîtes contient des nutriments nécessaires à la croissance des bactéries ainsi qu'un indicateur de pH. Si les bactéries cultivées se nourrissent sur ce milieu en dégradant un composé fluoré, le milieu aura tendance à s'acidifier, passant alors du vert au jaune.

1. GMGM, unité CNRS/Université de Strasbourg.



**9.** Reste à confirmer si l'activité métabolique des bactéries est bien associée à la rupture de la liaison du fluor et du carbone – et donc à la dégradation de PFAS. Pour tirer cela au clair, on utilise un autre test colorimétrique. Il permet de vérifier la production de fluorure issue de cette dégradation et d'en déterminer l'intensité. Les étapes qui suivent impliquent la caractérisation et le séquençage des bactéries défluorantes, et l'identification des enzymes responsables. Le but est de pouvoir utiliser ces enzymes pour dépolluer des eaux ou des terres contaminées. La tâche s'annonce titanesque... et ne pourra aboutir qu'en combinant diverses approches de dépollution – physiques, chimiques ou biologiques.

# Nations Unies

## Conférence sur les Changements Climatiques 2015

COP21/CMP11

Paris France



# Dix ans après, un accord de Paris aux résultats mitigés

© ARNAUD BOUSSOU / COP21 / ANADOLU AGENCY VIA AFP

**C'**est un drôle d'anniversaire que celui de l'accord de Paris sur le climat. Il y a 10 ans, 195 pays adoptaient par consensus l'objectif de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre « dès que possible » afin de maintenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C par rapport à la température de l'ère préindustrielle – et, si possible, en dessous de 1,5 °C. Pour la première fois, le monde entier se tenait au chevet du climat, reconnaissant l'urgence d'agir.

Pourtant, une décennie plus tard, on semble loin du compte... Alors que la 30<sup>e</sup> conférence des Nations unies sur les changements climatiques (COP 30), qui s'est tenue en novembre à Belém (Brésil), n'a pas réussi à acter la feuille de route organisant la sortie progressive des énergies fossiles, quel est le bilan de cet accord aussi inédit que la situation qu'il visait à résoudre ?

Une chose est sûre : le samedi 12 décembre 2015 restera dans les annales de l'histoire de la gouvernance mondiale. À 19 h 29, dans une ambiance électrique,

TERRE

SOCIÉTÉS



**CLIMAT** Le 12 décembre 2015, l'accord de Paris, adopté par 195 pays, visait à limiter le réchauffement du climat à 2 °C. Dix ans après, les résultats se font attendre. De quoi interroger l'efficacité des COP, ces grand-messes climatiques, dont la trentième édition s'est achevée fin novembre au Brésil.

PAR MATHIEU GROUSSON

Laurent Fabius, ministre français des Affaires étrangères et président de la 21<sup>e</sup> conférence des Nations unies sur les changements climatiques (COP 21), abattait son marteau sur le pupitre, scellant un accord immédiatement salué par une longue ovation de la salle plénière du Bourget. « *Notre responsabilité est historique*, déclarait-il,

► L'accord de Paris a été salué lors de sa signature comme un accord historique et fait toujours référence aujourd'hui.

*car nous sommes la première génération à prendre conscience du problème et la dernière à pouvoir agir.* » Se fondant sur les recommandations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), les pays signataires s'engageaient à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre à travers des plans nationaux volontaires appelés « contributions déterminées au niveau national » (CDN), et révisés tous les cinq ans.

S'ajoutait à cet engagement la nécessité pour les pays développés d'apporter une aide financière aux nations les plus vulnérables. « À Paris, souligne Agathe Euzen, directrice adjointe de CNRS Écologie & Environnement, on a assisté à la naissance d'une forme de diplomatie fondée sur la science et aboutissant à un accord universel reflétant une prise de conscience globale. »

### Un socle juridique

L'accord de Paris gagne peu à peu en robustesse au fil des COP. En 2018, la COP 24, à Katowice (Pologne), adopte ainsi un ensemble de règles (le « rulebook ») précisant la manière de mesurer, déclarer et vérifier les émissions de gaz à effet de serre de chaque pays. L'accord devient réellement opérationnel et transparent.

En 2021, à Glasgow (Écosse), la COP 26 appelle à une « réduction progressive » du charbon. Deux ans plus tard, à Dubaï (Émirats arabes unis), la COP 28 franchit un cap historique en reconnaissant la nécessité de sortir des énergies fossiles dans leur ensemble. Entre-temps, la COP 27 de Charm el-Cheikh (Égypte) a acté la création d'un fonds « pertes et dommages » pour aider les pays les plus vulnérables.

Selon Marta Torre-Schaub, juriste à l'Institut des sciences juridique et philosophique de la Sorbonne<sup>1</sup>, « l'ensemble des mécanismes relatifs à l'accord de Paris, auxquels s'ajoute tout le droit international dédié au climat, constituent aujourd'hui un socle

*juridique suffisant à même de traiter la problématique de la lutte contre le réchauffement climatique*. » « L'accord de Paris fait du climat la question centrale à laquelle sont adossées toutes les autres », ajoute Jean Foyer, anthropologue au Centre de recherche et de documentation sur les Amériques<sup>2</sup> et co-coordonateur d'un projet d'ethnographie collaborative qui visait à documenter, depuis Belém, les tensions naissant d'une politique climatique mondiale.

Toutefois, 10 ans après la signature de cet accord historique, force est de constater que les résultats concrets se font attendre sur le front du climat...

### Seule solution, stopper les émissions

Dès 2013, le cinquième rapport du Giec confirmait que la température moyenne mondiale dépendait du cumul des émissions de gaz à effet de serre. En clair, pour arrêter le réchauffement, il n'y a qu'une seule solution : stopper net les émissions de carbone – ce que le sixième rapport du Giec, publié en 2021, fait figurer noir sur blanc.

« Dès lors que les émissions nettes seront égales à zéro, la température de la Terre se stabilisera en quelques dizaines d'années, de même qu'une grande partie du régime des précipitations et des chaleurs extrêmes », explique Jean-François Doussin, directeur adjoint de CNRS Terre & Univers.



© DUTCHSENER / ISTOCK.COM

1. ISJPS, unité CNRS/Université Panthéon-Sorbonne. Marta Torre-Schaub est également directrice du réseau CNRS Droit et changement climatique (ClimaLex).  
2. Creda, unité CNRS/Université Sorbonne Nouvelle.

À tout objectif chiffré de stabilisation de la température mondiale correspond un budget d'émissions à ne pas dépasser. Ainsi, pour limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C, il faut atteindre le « 0 émission nette » dès 2050 ; pour le limiter à 2 °C, la date butoir est fixée à 2070. Concrètement, aujourd'hui, ne pas dépasser le seuil de 1,5 °C implique de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 42 % à l'horizon 2030 par rapport à la référence de 2019 (ou de 28 % pour rester sous le seuil de 2 °C).

Au vu de la trajectoire actuelle des émissions, cela semble difficile, voire impossible. À ce jour, 107 pays couvrant 82 % des émissions ont fourni des objectifs d'atténuation quantifiés, conformément aux termes de l'accord de Paris. Et 10 membres du G20, dont l'Union européenne, ont déjà passé leur pic d'émission. Mais en additionnant tous ces engagements (et en imaginant que les États les tiendront), la baisse des émissions de gaz à effet de serre ne devrait être que d'environ 4 % en 2030 par rapport au niveau de 2019... Très loin des ambitions affichées par l'accord de Paris, donc.

#### Le seuil de +1,5 °C franchi en 2024

Pire, les émissions liées aux activités humaines ont en réalité progressé de 1,3 % entre 2022 et 2023, soit un rythme supérieur à la moyenne de la décennie 2010-2019. Et la concentration de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère ne cesse de croître. Selon l'Organisation météorologique mondiale<sup>3</sup>, la concentration moyenne mondiale de CO<sub>2</sub> a enregistré en 2024 sa « *plus forte hausse depuis le début des mesures modernes, en 1957* ». Non seulement les contributions fixées par chaque pays (les fameuses CDN) ne sont pas à la hauteur des enjeux, mais les pays les mettent en œuvre à un rythme bien trop lent.

Résultat : en 2024, la température moyenne à la surface de la Terre a franchi pour la première fois le seuil de +1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle. Si rien ne change, nous nous acheminons vers un réchauffement de la température planétaire de 3,1 °C à la fin du siècle, selon les experts onusiens. Et ce, alors même que les effets du réchauffement climatique se font déjà



durement ressentir, avec la multiplication des événements climatiques extrêmes : tempêtes, vagues de chaleur, sécheresses, inondations...

« La manière dont réagit le système Terre à nos émissions n'est pas une surprise. Tout ce qui est observé aujourd'hui avait été globalement prédit par les scientifiques », rappelle Gerhard Krinner, chercheur à l'Institut des géosciences de l'environnement<sup>4</sup> qui a contribué à la rédaction du sixième rapport du Giec. En cause : un cercle vicieux dans lequel se répondent émissions humaines, multiplication des feux de forêt et réduction de l'absorption du carbone par les écosystèmes...

À la hausse constatée des températures s'ajoutent plusieurs constats inquiétants mesurés par les scientifiques. « Les océans se réchauffent plus vite que prévu par les modèles, détaille Agathe Euzen. De même, la cryosphère (l'ensemble des masses de glace, de neige et de sols gelés) fond plus rapidement. » Sans même parler du dépeuplement de la forêt amazonienne ou de la mort des récifs coralliens d'eau chaude dont dépendent 1 milliard de personnes et un quart de la vie marine...

C'est toute l'ambiguité de l'accord de Paris. En théorie, les contributions déterminées par chaque pays (les CDN) sont « *juridiquement contraignantes, si bien que les États ont l'obligation légale de les mettre en œuvre à travers leurs droits*

« L'accord de Paris sert de référence. Pour les États, bien sûr, mais également pour de très nombreux acteurs non étatiques. »



► À Cuba, des habitants marchent au milieu des décombres après le passage de l'ouragan Melissa, en octobre 2025. Les épisodes météorologiques extrêmes sont devenus plus fréquents et plus violents.

## Les COP en question

**D**'un côté, les rapports du Giec, fruit du travail de la communauté scientifique mondiale et base des négociations lors des COP, indiquent un chemin clair et n'ont « pas d'équivalent à l'échelle de l'humanité », assure Jean-François Doussin, directeur adjoint de CNRS Terre & Univers. De l'autre, les COP sont le lieu de la diplomatie, où les États reprennent la main et négocient en direct (même si des scientifiques y sont conviés). Au sein de ces assemblées, « au-delà de l'urgence climatique, apparaissent des enjeux géopolitiques où priment souvent les intérêts particuliers », regrette Agathe Euzen, directrice adjointe de CNRS Écologie & Environnement. Un exemple : lors de la COP 28, qui s'est tenue en 2023 aux Émirats arabes unis, les petits États insulaires réclamaient une sortie rapide des énergies fossiles, tandis que les pays producteurs ont pesé de tout leur poids pour qu'une formulation moins claire soit finalement retenue (« une transition hors des

énergies fossiles »). Et la COP 30, qui s'est achevée à Belém en novembre 2025, a échoué une nouvelle fois à acter le calendrier d'une sortie progressive du charbon, du pétrole et du gaz. Autre difficulté posée par les COP, constate le climatologue Gerhard Krinner, qui a contribué à la rédaction du sixième rapport du Giec : « la nécessité de l'unanimité lorsque des décisions sont prises conduit à des textes souvent en deçà de ce qui serait nécessaire ». Et pourtant... Dans un monde de plus en plus fragmenté, « les COP et les accords qui en découlent sont probablement le signe le plus tangible de la possibilité de faire vivre une forme de multilatéralisme, une arène où entretenir l'idée de la construction d'un monde commun », estime la juriste Marta Torre-Schaub. L'anthropologue Jean Foyer confirme : « On peut les voir avec cynisme, mais l'autre solution, c'est la guerre de tous contre tous, ce qui fait probablement de l'accord de Paris un bien commun très précieux dans le contexte géopolitique actuel. »

nationaux », rappelle Marta Torre-Schaub. Mais, dans les faits, il est impossible de contraindre un État à respecter ses engagements, constate la juriste, d'autant que le contrôle de ces obligations est difficile à mettre en œuvre. Sans oublier qu'une poignée d'États refusent cet accord, au premier rang desquels les États-Unis de Donald Trump, pourtant l'un des principaux contributeurs à l'émission de gaz à effet de serre.

### Un monde (tout de même) meilleur

Attention cependant à ne pas jeter le bébé avec l'eau du bain, alertent les scientifiques. « Le monde est incontestablement meilleur avec l'accord de Paris que sans », tranche Gerhard Krinner. « Avec l'accord, on est actuellement sur une trajectoire de +3 °C en 2100. Sans, on serait à +4 ou à +5 °C », affirme Jean-François Doussin.

« L'accord de Paris sert de référence, poursuit Agathe Euzen. Pour les États, bien sûr, mais également pour de très nombreux acteurs non étatiques, et ce, à toutes les échelles, notamment dans les grandes villes du monde qui s'engagent souvent de manière très concrète dans la lutte contre le réchauffement climatique. »

3. Voir : [tinyurl.com/OMM-CO2](http://tinyurl.com/OMM-CO2) 4. IGE, unité CNRS/Inrae/IRD/Université Grenoble Alpes.



© SEIL MONTES / REDUX/REA

► Barrière de corail longeant les côtes de l'Amérique centrale. Les coraux sont menacés par la hausse de la température de l'océan.

Sur le plan juridique, l'accord de Paris facilite les possibilités de recours en justice contre les États (ou contre les entreprises pollueuses) qui ne respecteraient pas leurs engagements. En France, dans le cadre de « l'affaire du siècle », le tribunal administratif de Paris a ainsi reconnu en 2021 que l'État français avait manqué à ses obligations climatiques et l'a enjoint à prendre des mesures.

Il faut également citer l'action intentée en Allemagne par Saul Luciano Lliuya, un agriculteur péruvien, contre l'entreprise allemande d'électricité RWE pour la responsabilité partielle de celle-ci dans la fonte des glaciers et les inondations au Pérou. « *Si la Cour d'appel a rejeté la réclamation du plaignant, commente Marta Torre-Schaub, elle a néanmoins reconnu le principe d'une responsabilité civile pour un gros émetteur du fait des dommages causés – même dans un pays étranger – en conséquence du changement climatique.* »

Mieux : le 23 juillet dernier, la Cour internationale de justice a rendu un avis<sup>5</sup> affirmant que les États ont l'obligation de prévenir les dommages climatiques et

qu'ils peuvent être tenus pour responsables en cas de manquement, avec la possibilité de demandes de réparations. L'avis n'est que consultatif, mais, selon Marta Torre-Schaub, « *c'est une étape majeure qui affirme que c'est désormais la totalité du droit international qui peut être interprétée à la lumière de l'urgence climatique* ». <sup>6</sup>

5. Voir : [tinyurl.com/CIJ-climat](http://tinyurl.com/CIJ-climat)

*Selon la Cour internationale de justice, les États ont l'obligation de prévenir les dommages climatiques.*

## La transition énergétique, un mythe ?

L'accord de Paris repose sur un certain nombre de présupposés, dont l'abandon des énergies fossiles au profit des énergies renouvelables (solaire, éolien...). Mais, pour Jean-Baptiste Fressoz, historien des sciences au Centre de recherches historiques<sup>1</sup>, cette transition énergétique ne va pas de soi. Comme l'explique le chercheur, « *les énergies sont imbriquées les unes dans les autres*<sup>2</sup>. Une analyse historique de ce qui s'est fait depuis le xix<sup>e</sup> siècle révèle

*moins de grandes bascules qu'une expansion en parallèle de toutes les énergies et matières premières.* » Ainsi, le bois-énergie, le charbon et le pétrole ont-ils continué de coexister tout au long du xx<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, si la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique mondial va croissant, la consommation d'énergies fossiles ne faiblit toujours pas...

1. Unité CNRS/EHESS.

2. Voir : [tinyurl.com/mythe-energie](http://tinyurl.com/mythe-energie)

# **EN ACTION**

*«À rebours des idées reçues sur une supposée désaffection des nouvelles générations pour le travail, les enquêtes montrent qu'il reste une préoccupation centrale pour les jeunes.»*

# Manger sain, d'Hippocrate au Nutri-score



© COLL. PERS.

SOCIÉTÉS



**HISTOIRE SOCIALE** Au Moyen Âge, le sucre était gratifié de vertus thérapeutiques, tandis que le melon a longtemps été considéré comme dangereux ! Le médiéviste Bruno Laurioux, spécialiste de l'alimentation, raconte l'inlassable quête du bien manger, de l'Antiquité à nos jours.

PROPOS RECUÉILLIS PAR SYLVIE DAUVILLIER

**Dans votre dernier livre, vous faites remonter les débuts de la diététique à l'Antiquité grecque. Comment émerge-t-elle ?**

**Bruno Laurioux<sup>1</sup>** À l'origine, autour du v<sup>e</sup> siècle av. J.-C., la diététique est l'un des trois piliers de la médecine, au même titre que la chirurgie et la pharmacologie. La spécificité de la diététique antique, qui va durer, vise à entretenir le corps et à le garder sain, dans une approche préventive, mais aussi à combattre les maladies, dans une démarche thérapeutique. Les traités d'Hippocrate (ou qui lui sont attribués à l'époque) décrivent ainsi les effets des aliments sur la santé.

<sup>1</sup>. Enseignant-chercheur au Centre d'études supérieures de la Renaissance (CESR, unité CNRS/Université de Tours) et président de l'Institut européen d'histoire et des cultures de l'alimentation (IEHCA).

Au II<sup>e</sup> siècle apr. J.-C., l'autre grande figure de la médecine antique, Galien, qui se présente un peu comme l'héritier d'Hippocrate, s'intéresse aussi à la diététique. Cet auteur prolifique, qui a commencé comme médecin de gladiateurs en Asie mineure avant de soigner des empereurs et la haute société romaine, va notamment développer la « théorie des humeurs ».

Cette idée professe que le corps humain, le « microcosme », est constitué de fluides – le sang, le flegme (lymph), etc. –, qui sont des combinaisons des qualités premières de chaleur et d'humidité, comme le monde et l'univers, le « macrocosme » avec lequel il est mis en parallèle. Galien expose en détail que les aliments sont également des composés de qualités premières, produits de leur environnement, qui définissent leurs propriétés sur la santé.



Ces traités s'accompagnent de bien d'autres ouvrages, qui invitent à la modération et déclinent des règles de conduite de vie : l'exercice, les bains, l'activité sexuelle ou la prise en compte de l'environnement. Dans l'Antiquité, la maîtrise du corps porte un idéal social et relève du devoir civique.

**Au Moyen Âge, le monde arabo-musulman reprend l'héritage antique et introduit de nouveaux produits, à commencer par le sucre. Comment celui-ci arrive-t-il en Occident ?**

**B. L.** Venu de l'Inde, qui cultive la canne depuis des siècles, le sucre connaît un destin complexe en diététique. Les pays d'Islam, qui l'utilisent pour leur cuisine aigre-douce, le dotent de vertus médicales. Et en traduisant les traités arabes (qui vont d'ailleurs permettre à l'Occident latin de redécouvrir Galien), l'Europe



► Détail des *Moissonneurs*, tableau de Pieter Brueghel l'Ancien (1565).

plaisir, le chocolat, lui, déplaît aux théologiens. Est-il en fine une boisson, que l'on peut consommer pendant le Carême, ou un aliment, qu'il faut bannir pendant le jeûne ?

**Autre produit qui traverse toute l'histoire de la diététique, la viande connaît maintes fluctuations quant à sa perception.**

**B. L.** Absolument, même si les quantités consommées ne sont pas comparables à celles d'aujourd'hui. En France, même à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, on en mange moins de 20 kg par an et par personne, contre environ 80 kg aujourd'hui. La viande est au cœur d'enjeux éthiques, médicaux, religieux, économiques et, récemment bien sûr, environnementaux.

Dans l'Antiquité, dès le I<sup>er</sup> siècle av. J.-C., les néopythagoriciens (un courant philosophique et ésotérique qui s'inspire de Pythagore), bien que très minoritaires, estiment déjà qu'il n'est pas nécessaire de tuer des animaux pour manger. Il existe même un peu ce que nous appellerions « véganisme », d'aucuns proscrivant les matières animales comme le cuir ou la laine pour les vêtements.

Au Moyen Âge, des médecins, dont Arnaud de Villeneuve (1240-1311), jugent, eux, que la viande a des effets néfastes sur la santé. Tandis qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, un violent débat oppose ses partisans et ses détracteurs à la faculté de médecine de Paris. Mais le végétarisme s'affirmera vraiment au XIX<sup>e</sup> siècle aux États-Unis, avec des réformateurs comme le pasteur presbytérien Sylvester Graham, et en Grande-Bretagne. L'Église, elle, pense que la viande échauffe et conduit à la luxure...

l'importe depuis l'Orient à partir du XII<sup>e</sup> siècle. Il est alors considéré comme un aliment et comme un médicament, prescrit par exemple contre la toux. Mais, déjà dénoncé au XVII<sup>e</sup> siècle pour « la noirceur qu'il cache sous sa blancheur », il reste aujourd'hui un « poison » à combattre.

À l'inverse, jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, le melon, prisé dans le bassin méditerranéen, est jugé dangereux s'il est consommé excessivement froid et humide, car difficile à digérer. On conseille de le déguster à jeun ou en début de repas, en l'accompagnant de correctifs, de sel ou d'un vin puissant.

Dans l'ancienne diététique, on compose avec les goûts en tentant de limiter les effets néfastes des aliments. Et les médecins écrivent même des traités de cuisine en proposant des compensations. Par

exemple, on utilise le lait d'amande pour les malades en remplacement des laitages, comme aujourd'hui.

Le classement des aliments, qui détermine leurs usages, ne cesse aussi d'agiter la médecine, cette « philosophie naturelle », comme elle se définit. Et les produits du Nouveau Monde suscitent des interrogations. Où classer la tomate, qui inspire la méfiance ? Source de désir et de

*« Au Moyen Âge, des médecins jugent que la viande a des effets néfastes sur la santé. »*



© THE ADVERTISING ARCHIVE / BRIDGEMAN IMAGES

► Publicité pour les céréales Kellogg's, aux États-Unis, dans les années 1940.

**Justement, comment les préceptes religieux croisent-ils la diététique ?**

**B. L.** Des textes théologiques ou de droit canonique font des préconisations et désignent des interdits alimentaires, en utilisant parfois l'argument médical pour renforcer leur légitimité. Mais, en retour, la médecine peut aussi s'inspirer de positions morales en matière de diététique. Aux États-Unis, par exemple, le médecin et chirurgien John Harvey Kellogg, qui est adventiste, promeut le végétarisme et les céréales pour le petit déjeuner. Cet inventeur des corn flakes lancera avec son frère la fameuse compagnie devenue firme qui porte leur nom.

**La digestion suscite aussi d'après débats scientifiques.**

**B. L.** On s'envoie même des insultes à son sujet ! Dans l'esprit de Galien, il s'agit d'une cuisson successive, comme dans un four, qui commence dans l'estomac et se poursuit dans d'autres organes. Ses héritiers voient

dans la digestion une fermentation, soit un processus chimique. D'autres médecins l'identifient plutôt, comme de rares auteurs dans l'Antiquité, à un processus mécanique, la trituration, au cours duquel les organes digestifs broient les aliments comme une meule. Cet affrontement se solde par la victoire des partisans de la fermentation, ouvrant la voie à la science nutritionnelle au XVIII<sup>e</sup> siècle.

**En quoi cette évolution constitue-t-elle un basculement majeur dans l'histoire de la diététique ?**

**B. L.** L'ancienne diététique, qualitative, qui pensait des régimes « haute couture » adaptés à l'individu, est remise en question et marginalisée. Avec le développement d'une science mathématisée, s'y substitue une diététique quantitative, rationalisée et axée sur la mesure, avec pour précurseur l'inventeur italien Santorio Santorio (1561-1636) et sa balance, avec laquelle il mesure les apports et les dépenses énergétiques du corps.

Dans son sillage et sous l'impulsion des chimistes, on s'intéresse désormais non plus à la combinaison équilibrée des aliments, mais aux nutriments, pourvoyeurs énergétiques pour le corps – à savoir les glucides, les protéines et les lipides.

Dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle, des expériences sont menées à la recherche d'une alimentation idéale pour presque tout le monde, entre raison et ration. La calorie s'impose en unité de mesure dans la médecine, mais aussi dans les politiques de santé. Ce modèle, qui se généralise, va être appliqué dans les lieux collectifs : écoles, hôpitaux, centres d'internement, ou au sein de l'armée.

**De quelle façon la révolution industrielle va-t-elle servir ce processus ?**

**B. L.** Des machines, comme le calorimètre, favorisent la mise en œuvre de ce modèle. D'autant que, alors que l'urbanisation s'accélère, il faut nourrir le plus efficacement possible la population laborieuse des grandes villes afin d'augmenter la productivité. Car la diététique est évidemment aussi une affaire politique.

Ce modèle de nutrition est traversé par des modes, qui apparaissent souvent aux États-Unis. Paradoxalement, l'Amérique importe à la fois l'idée du véganisme, dans un esprit conservateur, avec des diététiciens comme Graham, et l'incitation à consommer toujours plus de viande, des médecins prescrivant des rations hypercaloriques au tournant du XX<sup>e</sup> siècle.

La promotion des produits laitiers, en rupture avec l'ancienne diététique, vient également des États-Unis. Plus tard, à la suite de l'explosion des maladies cardio-vasculaires dans le pays, les diététiciens inciteront à manger moins gras, avant de déclarer le sucre ennemi public, en lien avec l'émergence du diabète.



À lire :  
*Une histoire de la diététique - D'Hippocrate au Nutri-score*,  
de Bruno Laurioux,  
CNRS Éditions,  
2025, 692 p., 27 €



**L'histoire de la diététique est aussi jalonnée d'angoisses.**

**B. L.** Il y a d'abord, à toutes les époques, la peur suscitée par la nouveauté (la néophobie), ainsi que la terreur de l'aliment empoisonné. Si l'industrialisation, avec la rationalisation de la production, a d'un côté rassuré quant à la limitation du risque, elle a généré d'autres craintes récurrentes – notamment sur l'hygiène des abattoirs pour la viande, dès le xix<sup>e</sup> siècle. Mais, dans nos sociétés contemporaines, l'angoisse liée à l'alimentation a pris une place énorme.

**L'obésité, emblématique des maux de l'époque, est aujourd'hui un problème majeur de santé publique. Comment en est-on arrivé là ?**

**B. L.** Un renversement s'est produit. Autrefois maladie des riches et des gourmands, l'obésité a progressé au cours des dernières décennies avec l'augmentation du niveau de vie, pour devenir une « épidémie » qui frappe les pauvres presque partout dans le monde, avec des taux qui explosent, de l'Amérique aux archipels du Pacifique.

Le principal facteur de ce fléau reste alimentaire. Mais, alors que dans les années 1970, on se préoccupait surtout de l'anorexie, qui touchait plutôt des jeunes filles de milieux favorisés, cette pathologie des classes dominées n'a été vraiment prise en compte qu'à l'aube des années 1980. Par contraste, l'obsession du corps impose un modèle normatif de minceur et, pour maigrir, on recourt à des régimes qui, dans l'ancienne diététique, avaient d'abord vocation à prévenir ou à soigner.

**À partir de quel moment la science nutritionnelle est-elle remise en question ?**

**B. L.** En réalité, elle l'a toujours été de façon marginale, par exemple au début du xx<sup>e</sup> siècle avec le docteur Paul Carton (1875-1947), qui clame que l'alcool, la viande et le sucre

## « Dans nos sociétés contemporaines, l'angoisse liée à l'alimentation a pris une place énorme. »

sont trois poisons à bannir. Ce sont les dérives de la production agro-alimentaire qui vont conduire à sa contestation plus large et provoquer la méfiance.

La multiplication des acteurs (goupons, pseudo-médecins, associations de consommateurs, influenceurs, mais aussi experts de l'industrie) renforce ce climat anxiogène, en individualisant l'approche, a fortiori à l'heure des réseaux sociaux. En outre, dans les librairies, les rayons « diététique » ne cessent de s'étendre. Autant d'injonctions contradictoires, en partie à l'origine de l'orthorexie, cet extrémisme diététique qui pousse à une interrogation permanente et

▼ Des clientes devant un fast-food qui vend des pizzas, à Santiago du Chili, en 2018.

presque pathologique sur sa nourriture. Or la diététique doit s'appuyer sur la persuasion plutôt que sur l'injonction.

**Le Nutri-score, ce logo imprimé sur les emballages des produits pour informer sur leur qualité nutritionnelle, s'inscrit-il dans cette obsession de ne pas se tromper ?**

**B. L.** Selon moi, c'est un outil utile pour alerter toutes les personnes un peu démunies face à des choix alimentaires. L'application Yuka, elle, qui permet de scanner les produits alimentaires pour décoder leur composition et évaluer leur impact sur la santé et l'environnement, s'adresse à une population plus informée.

Quant à l'avenir, en tant qu'historien, je me garderai de me lancer dans des projections sur ce que l'intelligence artificielle va changer en diététique. Mais je crains qu'elle reproduise seulement le discours dominant en la matière. En revanche, je me réjouis de l'attention que nombre de jeunes portent aujourd'hui à ce qu'ils mangent. L'alimentation est une affaire sérieuse. □



© VICTOR RUIZ CABALLERO / THE NEW YORK TIMES/REDUX / REA

▲ À Dacca (Bangladesh), une femme trie des bouteilles en plastique issues de décharges et les prépare pour le recyclage.

# Recyclage du plastique, une solution en trompe-l'œil

MATIÈRE ◀ SOCIÉTÉS ☰

**ENVIRONNEMENT** Le sommet de Genève sur la pollution plastique a échoué à négocier un traité international. En cause, notamment : le recyclage et ses limites. Une question qui se trouve au cœur d'une expertise scientifique collective portée par le CNRS et l'Inrae.

PAR MAXIME LEROLLE

**A**oût 2025 : le sommet de Genève sur la pollution plastique s'achève sur un échec. Ce cinquième comité intergouvernemental de négociation n'a pas su s'accorder sur un traité international contraignant pour lutter contre la pollution plastique.

« Les priorités identifiées par la science restent claires, réagit Agnès Pannier-Runacher, alors ministre française de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche. Il faut s'attaquer à l'ensemble du cycle de vie de la pollution plastique, en commençant par reconnaître que les niveaux de production et de consommation actuels ne sont pas durables et que le recyclage et la gestion des déchets ne sont qu'un pis-aller. »

Trois mois plus tôt, une expertise scientifique collective pilotée par le CNRS et l'Inrae restituait deux ans et demi de travail sur les plastiques utilisés dans l'agriculture et pour l'alimentation<sup>1</sup>. Avec un point central, celui du recyclage et de ses limites. Car recycler les plastiques se heurte à un problème de taille : leur formulation chimique.

## « Une grande diversité de plastiques »

Pour composer des polymères (base des matières plastiques), on assemble des monomères (molécules quasi exclusivement issues du pétrole), puis on leur adjoint des additifs, avant de combiner ces formulations. Toutefois, précise Sophie Duquesne, chimiste et copilote scientifique

de l'expertise pour le CNRS, « chaque polymère a des propriétés spécifiques, de sorte qu'aucun n'est substituable à un autre ». En résulte une hétérogénéité qui compromet fortement l'aptitude au recyclage des plastiques.

« On invente une grande diversité de plastiques, alors que seuls le PET (qu'on trouve notamment dans les bouteilles d'eau) et le PEHD (dans celles de lait et de shampoing) bénéficient d'une filière technique de recyclage fonctionnelle », déplore Baptiste Monsaingeon, sociologue et autre copilote scientifique de l'expertise pour le CNRS. Il plaide pour réduire et simplifier le nombre et la formulation des plastiques afin d'en faciliter le recyclage.

Recueillir les matières à recycler n'est pas plus aisé. Dans le monde, moins de la moitié des déchets en plastique était collectée (en 2016), sur une production de plus de 400 millions de tonnes (en 2023), estime l'expertise. L'Union européenne, elle, a sensiblement amélioré son taux de recyclage effectif ces dernières années, collectant jusqu'à un tiers de ses déchets en 2022. Mais elle souffre d'une augmentation croissante de son volume de déchets.

De plus, le recyclage mécanique a ses limites. Il broie les objets en plastique pour obtenir une matière première recyclée, qui perd les propriétés mécaniques des polymères au fil des cycles.

## Un « mythe » pour légitimer le consumérisme

Des industriels avancent donc des solutions chimique et enzymatique, qui décomposent les polymères en substances chimiques élémentaires en vue de nouvelles applications. Promises depuis des années, elles ne sont à ce jour que très peu développées à l'échelle industrielle.

Et leur modèle économique risquerait d'accroître la production de plastique, avance Sophie Duquesne : « Pour rentabiliser les importants investissements initiaux, ces industries ont besoin d'un gros volume de polymères à recycler, incompatible avec une diminution de la production de plastiques vierges ».

En réalité, la littérature scientifique est unanime : il faut réduire la production de plastiques vierges plutôt que tout miser sur le recyclage. La promotion de celui-ci par

1. Voir : [calameo.com/inrae/books/006800896ee24d22e474a](http://calameo.com/inrae/books/006800896ee24d22e474a)



© SURAJ KANT DAS / ZUMA PRESS / REA

les industriels comme par les États répond en outre à des finalités économiques – en déchargeant la gestion des déchets sur les consommateurs.

« *Avec le recyclage, c'est le consommateur qui est considéré comme le producteur et le responsable des déchets, et non l'industrie, observe Baptiste Monsaingeon. Et, à l'échelle individuelle, il sert de mythe pour légitimer des pratiques consuméristes.* »

Plus de plastiques implique davantage de dommages sanitaires et environnementaux. Il est donc crucial que le futur traité international sur les plastiques intègre un article transversal portant sur la santé, notamment humaine, insiste la toxicologue Muriel Mercier-Bonin, copilote scientifique de l'expertise scientifique pour l'Inrae : « *Les plastiques impactent notre santé durant toute leur vie, de leur production à leur élimination* ».

Même s'ils ne composent qu'une petite partie des formulations chimiques, les additifs ont des effets avérés sur la santé humaine : troubles de la reproduction et du développement, maladies cardio-vasculaires, cancers, etc. Et pèsent d'autant sur les systèmes de santé. En prenant le seul cas des phtalates et du bisphénol A (des perturbateurs qui figurent parmi les plus étudiés

dans la littérature), l'expertise a pu établir qu'ils coûtaient jusqu'à 130 milliards de dollars par an au Canada, aux États-Unis et dans l'Union européenne.

À cela s'ajoute la pollution des sols par ces dérivés du pétrole – un fait nettement moins connu que l'accumulation de plastiques dans l'océan.

Pourtant, la contamination des sols est sans frontières. Elle est estimée à plus de 10 millions de tonnes dans le monde. On a retrouvé des microplastiques transportés par les vents jusqu'au fin fond des déserts asiatiques et sur les sommets himalayens. En France, une étude menée en 2024 sur une quarantaine

de sols a dénombré pas moins de 250 kg de plastique par hectare. Ici, pas de consommateurs à incriminer...

Cette pollution planétaire résulte « *des multiples activités humaines, tant dans les zones urbaines – par exemple, la dégradation de nos textiles synthétiques dans les machines à laver – que dans les milieux agricoles* », souligne l'hydrologue Bruno Tassin, membre de l'expertise scientifique collective. Et il se montre catégorique : « *Extérieurs à tout cycle biogéochimique et, de fait, doués d'une vie presque infinie, les plastiques n'ont rien à faire dans l'environnement. La seule limite acceptable, c'est zéro plastique!* » **II**

## *Il faut réduire la production de plastiques vierges plutôt que tout miser sur le recyclage.*

# « Beaucoup d'animaux comprennent la mort »



VIVANT



**ÉTHOLOGIE** Si les animaux ont une sensibilité, comme le montre depuis peu la recherche, qu'en est-il de leur attitude face à la mort ?

La biologiste Emmanuelle Pouydebat révèle dans un récent ouvrage les émotions et les comportements complexes de nombreuses espèces dans cette situation.

PROPOS RECUEILLIS PAR FRANCIS LECOMPTE

**Comment une biologiste en vient-elle à s'interroger sur le comportement des animaux vis-à-vis de la mort ?**

**Emmanuelle Pouydebat**<sup>1</sup> Je m'intéresse beaucoup aux émotions animales et au lien entre celles-ci et la cognition. Entre autres émotions, celle de la tristesse, liée aussi à la perte de l'autre et au deuil, m'a beaucoup questionnée. Ces sujets semblent encore peu documentés, parce que l'idée reçue demeure que ces émotions font appel à la conscience et appartiennent spécifiquement à l'espèce humaine. Les chercheurs éprouvent aussi des réserves à s'y intéresser, par peur de mal interpréter certains comportements animaux.

Pour ma part, j'ai toujours pensé qu'il y avait un anthropomorphisme acceptable, quand il permet de soulever des questions et donc d'avancer. Faute de quoi, on passe à côté de certaines capacités animales. Or nous avons tendance à sous-estimer les souffrances animales. Je pense qu'une partie de la maltraitance s'explique par cette méconnaissance.

**À vous lire, on constate qu'en réalité, nombre d'articles scientifiques traitent de cette question de la mort chez les animaux.**

**E. P.** C'était une surprise pour moi. Pour écrire ce livre, j'en ai recensé plusieurs centaines, ce qui veut dire que beaucoup de chercheurs dans le monde s'intéressent à la mort chez l'animal. En revanche, beaucoup de ces articles relatent des anecdotes, et les rares expérimentations réalisées dans ce domaine ne sont pas reproducibles. Je pense néanmoins que ces anecdotes ne doivent pas être sous-estimées, dès lors qu'elles font réfléchir et, d'un point de vue éthique, contribuent à remettre en question le déni de la sensibilité animale.

Beaucoup d'animaux comprennent la mort. Une multitude de comportements complexes et de réactions très fortes lui sont associés, depuis la difficulté à abandonner un congénère ou un bébé mort jusqu'à certaines formes d'autodestruction, en passant par la mort simulée pour échapper à un prédateur. Beaucoup d'espèces identifient aussi certains signaux indiquant la mort d'un congénère.

Certaines fourmis associent ainsi des odeurs spécifiques à l'absence de signes vitaux chimiques et comprennent qu'un congénère est mort. Des poissons comme les lampreys marins ou les requins fuient les odeurs de tissus en décomposition.

**Si les animaux comprennent la mort, en ont-ils pour autant une conception abstraite ?**

**E. P.** Les animaux ont-ils une intelligence de la mort au sens large, impliquant les notions de conscience et d'irréversibilité ? On ne le saura sans doute jamais avec certitude parce qu'on ne sera jamais dans leur tête. Néanmoins, quand on voit les réactions parfois très fortes des chimpanzés, par exemple, face à la mort d'un congénère, on est en droit de supposer qu'ils ont perçu que la mort de l'autre était irréversible. Dans ce sens-là, oui, j'associe ces comportements à des critères d'intelligence.

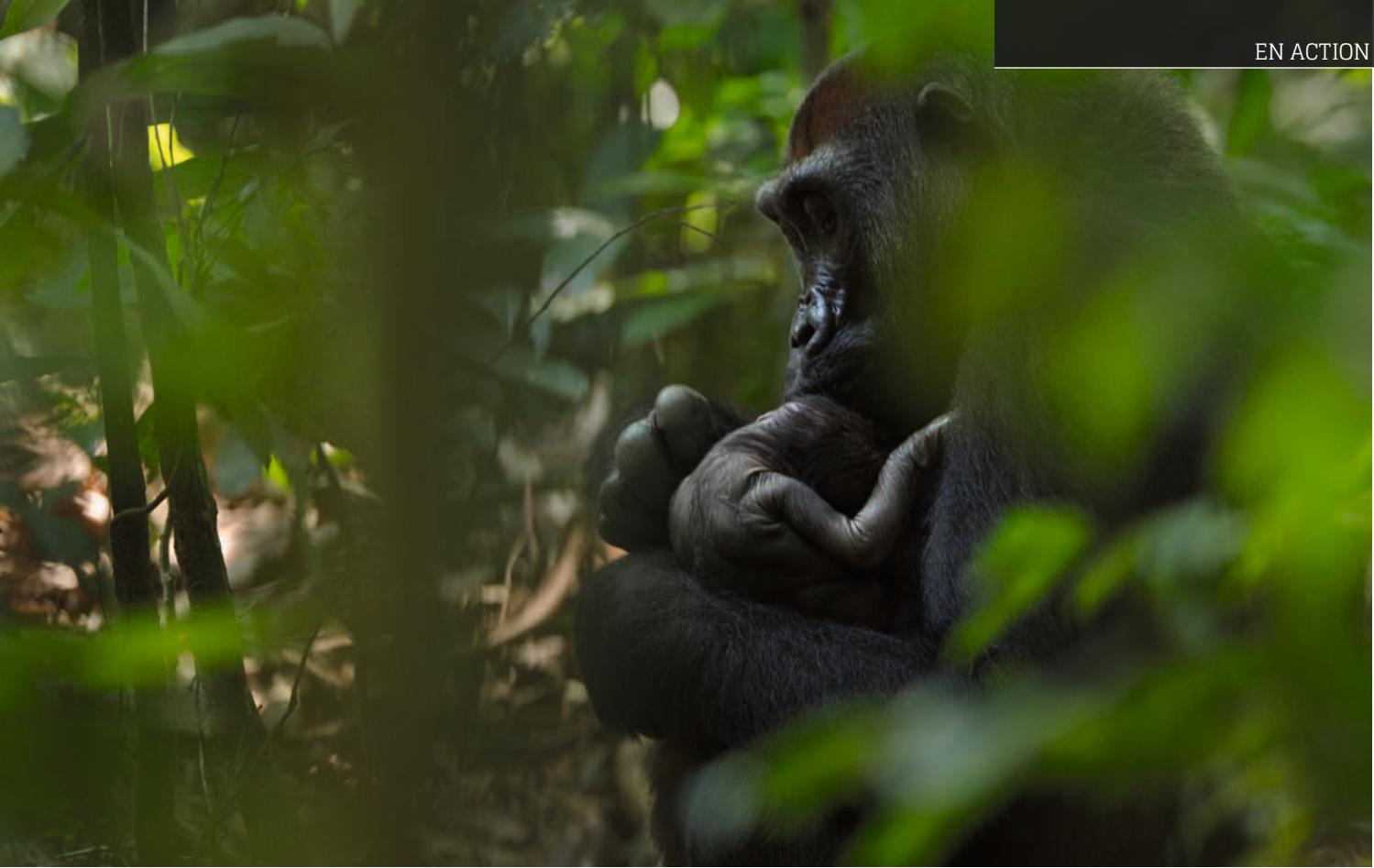
**Les réactions de thanatose, ces situations où l'animal fait littéralement le mort, abondent-elles dans ce sens ?**

**E. P.** Cela a été pour moi la révélation de cette étude. La thanatose, qui désigne la façon qu'ont les animaux de faire semblant d'être mort pour tromper un prédateur ou même une proie, ouvre un fantastique champ de questions. On a toujours prétendu que c'était une réaction automatique, codée génétiquement. Or on observe une variabilité infinie de mécanismes physiologiques – la réduction de la fréquence respiratoire, le ralentissement



À lire:  
*Les oiseaux se cachent-ils pour mourir ? Les animaux et la mort*,  
d'Emmanuelle Pouydebat et Arnaud Rafaelian (illustrations), éditions Delachaux et Niestlé, 2025, 208 pages.

<sup>1</sup>. Directrice de recherche CNRS au Laboratoire mécanismes adaptatifs et évolution (Mecadev, unité CNRS/MNHN).



© ANUP SHAH / NATUREPLR / EB PHOTO

du rythme cardiaque, une posture rigide, sans parler des lézards qui se laissent avaler par un prédateur et produisent des sérotonines qui font littéralement vomir celui-ci, libérant un lézard bien vivant !

Surtout, cette variabilité s'observe aussi entre les individus d'une même espèce. Un hippocampe qui nage très vite, par exemple, va tout simplement fuir à l'approche d'un prédateur. Mais celui qui est plus lent va chercher des cachettes potentielles et fera une thanatose en tout dernier recours. Une couleuvre à nez retroussé va se mettre à fuir, sauf si elle attend des petits, auquel cas elle simulera la mort. Tout cela montre qu'un individu réalise ou non une thanatose en fonction du contexte et de ses capacités du moment, selon qu'il est seul ou avec d'autres congénères...

#### Quelles conclusions faut-il en tirer ?

**E. P.** À ce stade, j'en retiens surtout des questions et des hypothèses qu'il faudrait tester. Il faudrait commencer par se demander si ces comportements répondent à des mécanismes d'apprentissage. On observe que

chez les opossums ou les hérissons, les jeunes peuvent être plus maladroits ou moins efficaces quand ils tentent de simuler la mort...

On voit bien aussi que la thanatose n'est pas la première réponse face au danger, mais que c'est un comportement adopté en dernier recours. Ce qui pose une autre question intéressante : à quel moment l'individu comprend-il, ou décide-t-il, de faire une thanatose, dans l'hypothèse où cette attitude serait bien volontaire de sa part ? Seule une observation en milieu naturel à grande échelle, impossible sans de vastes collaborations internationales, pourrait le dire.

*« Des corneilles semblent pratiquer de véritables cérémoniels en se rassemblant autour du corps. »*

▼ Une femelle gorille «materne» son petit mort-né, dans l'aire protégée de Dzanga-Sangha, en République centrafricaine.

#### Les animaux ont-ils des réactions qu'on pourrait qualifier de «rites» lorsque la mort d'un congénère survient ?

**E. P.** Certaines des réactions observées face à la mort de congénères semblent relever davantage de mesures de prophylaxie – d'hygiène, pour le dire autrement. Quand on voit des insectes dits «eusociaux» (c'est-à-dire organisés en castes ou en catégories d'individus) éliminer leurs membres morts, à la manière des guêpes qui traînent le cadavre jusqu'à parfois 100 m de la ruche, on peut penser que c'est surtout pour protéger la colonie. De même, chez les coléoptères d'écorce ou chez certaines espèces de termites qui enfouissent les cadavres, cela semble le moyen le plus efficace pour éviter tout contact ultérieur avec le cadavre, donc éventuellement la transmission de maladies.

Mais que penser des corneilles, qui semblent pratiquer de véritables cérémoniels en se rassemblant

*« Il est sûr que certains animaux font preuve d'une telle détresse après la perte d'un proche qu'ils peuvent aller jusqu'à se laisser mourir. »*

autour du corps, en criant et en plaçant parfois des objets, des plumes, des bâtons ou des herbes près du cadavre, peut-être comme autant de points de repère ? Il n'y a pas que de la prophylaxie là-dedans. L'enjeu de la cohésion sociale est énorme et constitue un vrai avantage évolutif. Pour moi, ces actes sont potentiellement liés à des émotions très fortes. On sent d'ailleurs qu'il y a une grande excitation lorsqu'un congénère meurt parmi les corneilles.

De même, chez les girafes ou les phoques qui se postent durant plusieurs heures autour d'un bébé mort. Ou encore chez les éléphants d'Afrique, qui ne se contentent pas de recouvrir le cadavre avec des feuilles ou des branchages, mais touchent sa peau ou ses défenses avec leur trompe. Je suis convaincue qu'il y a derrière tout cela des émotions

complexes, associées à des capacités cognitives phénoménales, sachant que ces éléphants sont capables de revenir des mois plus tard sur le même lieu, alors qu'ils parcouruent des territoires immenses. On peut dire que ce sont des rituels, dans le sens où ce sont des comportements spécifiques à cette situation de la mort d'un congénère. Les animaux se posent-ils pour autant des questions philosophiques sur la mort ? Je pense qu'on ne le saura probablement jamais. Nous, les humains, avons aussi nos limites dans la compréhension de leurs fonctionnements à eux.

#### Observe-t-on chez les animaux des comportements assimilables au deuil ?

**E. P.** Une mère hippopotame qui s'acharne pendant des heures et des heures à tenter de maintenir son petit

► Une couleuvre à collier feint la mort, bouche ouverte et tête penchée – une stratégie en cas de danger.



en mouvement, en le ramenant à la surface, n'est-elle pas poussée par un très fort sentiment de tristesse ? Beaucoup de primates, les babouins notamment, font preuve d'un niveau de stress élevé lorsqu'ils perdent un parent proche.

Le deuil est un sujet complexe, mais il est sûr que certains animaux font preuve d'une telle détresse après la perte d'un proche qu'ils peuvent aller jusqu'à se laisser mourir. C'est un phénomène qu'on observe le plus souvent chez les animaux en captivité. Mes collègues qui travaillent en milieu naturel soutiennent que l'animal sauvage, lui, va se battre jusqu'au bout pour survivre, poussé par une pulsion de vie plus forte que tout.

On sait pourtant qu'il y a des exceptions. Je pense à l'exemple célèbre observé par l'éthologue Jane Goodall du jeune chimpanzé Flint, attaché de manière exceptionnelle à sa mère, Flo. À la mort de celle-ci, Flint a cessé de s'alimenter et est resté prostré des journées entières à fixer l'endroit où sa mère était morte. En trois semaines, Flint est mort à son tour et, pour Jane Goodall, il ne faisait aucun doute qu'il s'était laissé mourir de chagrin.

**Les animaux domestiques ont-ils des attitudes différentes face à la mort ?**

**E. P.** Ils n'ont pas la même histoire que les animaux vivant en milieu naturel.



© ROMANVILL / NATUREPLUR / EB PHOTO



Un zèbre de Burchell mâle tente de réveiller une femelle morte lors de la mise bas, dans le parc national d'Etosha, en Namibie.

De plus, ils sont le résultat d'une sélection. Donc le contexte n'est pas le même, la notion de survie quotidienne n'est pas aussi forte chez eux.

Certains vétérinaires s'intéressent à la fin de vie des animaux domestiques et conseillent, par exemple, lorsqu'un animal meurt dans un foyer où ils vivaient à plusieurs, de laisser les autres voir le cadavre pour leur permettre de réaliser que leur compagnon est mort. Et, pour l'avoir vécu à plusieurs reprises, il est frappant de constater à quel point un chat, un chien, un rat en fin de vie luttent jusqu'à la dernière seconde. Difficile parfois de ne pas supposer qu'ils comprennent.

En témoigne l'histoire du gorille Koko, véritable star aux États-Unis dans les années 1980, à qui l'éthologue Penny Patterson avait réussi à apprendre la langue des signes. Pour tromper la solitude de l'animal, ses soigneurs lui avaient confié un chaton, aussitôt pris en affection par Koko. Jusqu'au jour où le chaton se fait écraser par une voiture. Quand Penny Patterson annonce la nouvelle à Koko, celle-ci réagit immédiatement par ces mots : malheureuse, triste, pleurer... ■

### Ce que vous avez découvert en écrivant ce livre vous ouvre-t-il de nouvelles perspectives de recherche ?

**E. P.** Quand j'observe à quel point les animaux peuvent éprouver de l'empathie pour les autres et, probablement, avoir une compréhension de la mort de l'autre, cela me conforte dans l'idée qu'il faut absolument continuer à travailler, scientifiquement parlant, sur le bien-être animal, notamment en captivité.

Je vais ainsi commencer à travailler sur la question de la fin de vie, en commençant par identifier quand un animal va mal, ce qui n'est pas si évident. Cela suppose de pouvoir détecter des émotions en utilisant les marqueurs comportementaux dont on dispose déjà, y compris via des outils d'intelligence artificielle. Une fois qu'on a identifié qu'un individu va mal et arrive en fin de vie, on va essayer de voir comment on peut l'accompagner au mieux, lui, bien sûr, mais aussi le groupe social.

C'est un sujet tout à fait novateur. Certains parcs zoologiques, notamment, s'intéressent à cette question, mais par principe prophylactique, ils isolent l'individu en fin de vie. Or, quand la mort est liée à la vieillesse, il n'y a pas de raison physiologique de le faire. Pourquoi ne pas alors le laisser mourir au sein de son groupe ? ■

## En bref

### TERRES RARES : BRISER LA DÉPENDANCE

Le 14 novembre 2025, au Collège de France, à Paris, la Mission pour l'expertise scientifique du CNRS a présenté un rapport destiné aux pouvoirs publics sur l'usage responsable des terres rares – essentielles aux technologies décarbonées, mais largement raffinées en Chine. Le document identifie trois leviers pour réduire la dépendance française : sobriété des usages, diversification des approvisionnements et recyclage, encore marginal.

### ANNÉE DE L'INGÉNIERIE : SUSCITER DES VOCATIONS

L'institut CNRS Ingénierie a lancé l'Année de l'ingénierie (septembre 2025 à juin 2026) pour mettre en lumière des métiers essentiels, mais souvent méconnus, et accessibles du CAP au doctorat. Portée avec le ministère de l'Éducation nationale, l'initiative vise à renforcer l'attractivité d'une filière en tension, à combattre la faible féminisation de celle-ci, ainsi qu'à créer un lien continu entre école et industrie. Consultez : [anneeingenierie.fr](http://anneeingenierie.fr)

### LE CNRS REMPTE 25 ERC

En novembre 2025, le CNRS a hébergé 13 des 21 bénéficiaires français de l'appel Synergy Grants 2025 du Conseil européen de la recherche (ERC). En décembre, 12 autres lauréats CNRS issus de l'appel Consolidator les ont rejoints.

### LE CNRS, CHAMPION D'EUROPE DES BREVETS PUBLICS

Le CNRS se classe premier organisme public de recherche en Europe pour les demandes de brevets publics déposées entre 2001 et 2020, selon un rapport de l'Office européen des brevets publié le 22 octobre 2025. Les dépôts du CNRS ont doublé en 20 ans, confirmant la place centrale de l'établissement dans l'innovation scientifique et technologique.

### ÉCLAIRER LES CHOIX PUBLICS DE GÉO-INGÉNIERIE

L'agence de programme Climat, biodiversité et sociétés durables, confiée au CNRS, a remis au ministère de la Transition écologique une première note de travail sur les interventions climatiques. L'objectif : fournir une expertise scientifique indépendante, pluridisciplinaire et fondée sur l'état de l'art pour accompagner les positions françaises dans les négociations internationales, notamment sur le stockage marin du CO<sub>2</sub>.



# Comment La Réunion s'adapte aux crues

SOCIÉTÉS



**GÉOGRAPHIE** Sur l'île de La Réunion, les cyclones peuvent déclencher des crues aussi soudaines que dévastatrices. Un chercheur s'est intéressé à la façon dont la population de ce département s'est adaptée au risque d'inondation au cours de son histoire.

PAR LAURE CAILLOCE

**A**vec ses vents localement à plus de 230 km/h et ses pluies torrentielles<sup>1</sup>, le cyclone Garance, qui a touché en février 2025 le département de La Réunion, a fait 5 morts, 50 000 sinistrés, et a endommagé des centaines d'habitations – principalement dans le nord et l'est de l'île, frappés de plein fouet. Le quartier de la Colline, dans la ville de Saint-Denis, a payé le prix fort, voyant plusieurs de ses maisons anéanties par une crue aussi violente que soudaine.

« Ce quartier populaire est emblématique du développement exponentiel de l'île depuis la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle, explique Gilles Arnaud-Fassetta, géographe au Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique<sup>2</sup>. Il est en effet établi pour partie dans le lit actif de la rivière Saint-Denis, l'un des 13 cours d'eau permanents de l'île, où des maisons ont commencé à s'édifier à partir de la fin des années 1930. »

<sup>1</sup>. Voir : [tinyurl.com/cyclone-garance](http://tinyurl.com/cyclone-garance) <sup>2</sup>. Prodig, unité CNRS/AgroParisTech-Paris Saclay/IRD/Université Panthéon-Sorbonne/Université Paris Cité.

Occupée dès le xvii<sup>e</sup> siècle, l'île a connu une croissance démographique lente, jusqu'à l'explosion qui a marqué la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle : de 255 000 habitants en 1950, sa population a bondi à... 886 000 aujourd'hui.

Pour mieux comprendre comment les Réunionnais ont occupé l'espace sur cette île volcanique, le géographe a entamé en 2024 une étude originale. Il s'est appuyé sur des centaines de cartes postales anciennes de l'île conservées aux archives départementales de La Réunion, afin

► «*On aurait dit la fin du monde!*», témoigne un habitant près de sa maison endommagée par le cyclone Garance, fin février 2025, dans le quartier de la Colline, à Saint-Denis de La Réunion.

de reconstituer la physionomie de divers villages et villes, ainsi que de leur environnement au fil des décennies. Accompagné du photographe Jean Larive, il est retourné sur les lieux pour fixer leur évolution sur la pellicule. En parallèle, il a mené une série d'entretiens avec des habitants des quartiers les plus exposés aux crues – celui de la Colline, notamment –, afin de mieux appréhender leur perception du risque.

Le géographe s'intéresse depuis toujours à la façon dont les populations cohabitent avec l'eau et, en particulier, avec les rivières. «*La Réunion m'a intéressé, car l'eau y est omniprésente, mais pas constante, témoigne Gilles Arnaud-Fassetta. Les précipitations annuelles vont de 250 millimètres (mm) sur la côte ouest à plus de 7 000 mm sur la côte est. La physionomie des rivières est, elle, dictée par la géomorphologie et le climat de l'île.*»

### Des rivières « extrêmement énergiques »

À côté des cours d'eau temporaires qui apparaissent à la saison des pluies (les « ravines »), il existe 13 « rivières » permanentes (des fleuves, techniquement, puisqu'elles se jettent toutes dans l'océan) façonnées par le caractère montagneux de l'île. Les sommets y tutoient les 3 000 m et les pentes qui descendent vers l'étroite plaine littorale sont particulièrement raides.

«*Les rivières permanentes sont des rivières à blocs semblables à celles que l'on peut voir descendre de l'Himalaya, décrit le chercheur. Du fait des pentes très fortes qui caractérisent leurs bassins versants, elles sont extrêmement énergiques – raison pour laquelle elles ont pu charrier d'aussi gros rochers – et exposent l'île à un fort risque d'inondation. Elles sont aussi susceptibles de se déplacer latéralement dans le fond de vallée, au fil du temps et des événements météorologiques... »*

Historiquement, les Réunionnais n'habitaient pas dans le fond des vallées, leur préférant les planèzes (les plateaux situés sur les flancs des volcans), les versants ou la bande littorale. «*Ils n'ont pas attendu le changement climatique pour s'adapter au risque inondation*», commente le chercheur. C'est la pression démographique, conjuguée aux raisons économiques notamment, qui a poussé certains Réunionnais à s'établir dans le lit actif des rivières, dans des habitats informels. «*On parle d'habitats informels car, si les habitants peuvent parfois être propriétaires des terrains, les maisons ont été construites sans permis de construire. Certaines sont de simples maisons en bois et tôle, quand beaucoup d'autres sont des habitations en dur.*»

Aujourd'hui, l'habitat en fond de vallée héberge au moins 5 % de la population réunionnaise. Mais 5 % qui courent un risque de plus en plus grand, alors que le changement climatique tend à augmenter la violence – et, parfois, la fréquence – des cyclones touchant l'île. Si la menace se fait de plus en plus pressante, la décision de quitter

les ravines et les rivières est difficile pour leurs habitants, qui sont très attachés à leur mode de vie. «*364 jours de l'année, ces endroits sont de petits paradis, noyés dans la végétation*, raconte Gilles Arnaud-Fassetta. Ce n'est qu'une fois par an, en moyenne, qu'ils se retrouvent sous l'eau.»

### Des digues pas si protectrices

Le géographe note cependant que la perception des habitants commence à changer : «*L'un de mes témoins raconte avoir perdu de vue sa famille pendant près de 20 minutes lors de la crue du 28 février 2025. Il avait de l'eau jusqu'au torse. Il a eu très peur et commence à parler de quitter le quartier.*» Mais déménager implique bien souvent de devoir payer un loyer pour vivre en habitat collectif.

Six zones sont classées « territoire à risque important d'inondation » (TRI) à La Réunion, ce qui en fait l'un des territoires français les plus exposés. Si des plans de délocalisation sont discutés avec les autorités, ils restent difficiles à appliquer, notamment pour les habitants des quartiers populaires qui n'ont pas les moyens de se reloger ailleurs. De plus, le problème ne se cantonne pas aux seuls fonds de vallées.

«*À La Réunion, des digues ont été construites pour protéger certains quartiers riverains des cours d'eau, parfois dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, ou pour permettre l'extension urbaine, comme c'est le cas pour les ouvrages érigés dans les années 1960-1980. Une grande partie des habitants de la ville de Saint-Denis vivent ainsi utopiquement en sécurité derrière une digue. Mais, avec le changement climatique, ces digues elles-mêmes risquent de se retrouver fragilisées, voire submergées*», alerte le géographe, qui a partagé ses travaux avec la Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) de La Réunion. Réduire la vulnérabilité des Réunionnais face aux risques de crue s'avère donc primordial. □

▲ Relevés topographiques dans le lit de la rivière des Pluies, à Saint-Denis de La Réunion.



© JEAN LARIVE / PRODIG / MNCP / CNRS IMAGES

# D'une astronomie populaire à l'astrophysique

**Vous dialoguez dans votre dernier ouvrage avec Camille Flammarion (1842-1925). Que représente-t-il pour vous ?**

**Jean-Philippe Uzan**<sup>1</sup> Je connaissais ses écrits, mais je les ai vraiment découverts assez tardivement, en particulier à travers mon implication dans la Société astronomique de France (fondée par Flammarion en 1887 et dont il fut le premier président) et par mes aventures entre science, littérature et théâtre. On parle beaucoup moins de Flammarion, aujourd'hui, parce que l'astrophysique n'a plus grand-chose à voir avec l'astronomie qu'il pratiquait. Pour moi, il incarne un certain universalisme et un humanisme propre à son temps, nourri d'une passion pour rendre l'Univers et la science populaires.

**Où en était alors l'astronomie, au tournant des xix<sup>e</sup> et xx<sup>e</sup> siècles ?**

**J.-P. U.** À la fin du xix<sup>e</sup> siècle, on se trouve encore dans une astronomie de description, tournée essentiellement vers la Terre, la Lune, le Soleil et le Système solaire. Elle repose sur des observations à la lunette, comme on en trouvait à l'observatoire que Flammarion fit construire à Juvisy-sur-Orge (dans l'actuelle Essonne) en 1883.

L'astronomie s'inscrit alors à plein dans le mythe du Progrès, aussi bien scientifique, technique que politique.



UNIVERS

**ESPACE** Cent ans après la mort de l'astronome et vulgarisateur scientifique Camille Flammarion, le physicien Jean-Philippe Uzan s'inscrit dans les pas de l'*Astronomie populaire* pour raconter de manière accessible un siècle de prouesses scientifiques qui ont révolutionné notre compréhension de l'Univers.

PROPOS RECUEILLIS PAR MAXIME LEROLLE

En 1871, au moment de la Commune de Paris, Camille Flammarion a 28 ans. Peut-être a-t-il lu le texte de son contemporain plus radical, Auguste Blanqui. Connue pour ses théories révolutionnaires, Blanqui a par ailleurs écrit *L'Éternité par les astres*, un essai dans lequel il relie les dernières découvertes astronomiques à des considérations politiques. À ses yeux, si toute chose est composée d'atomes et que l'Univers est infini, alors il doit exister toutes les variations possibles de l'arrangement de ces atomes... parmi lesquelles une autre Terre sur laquelle la Commune aurait abouti !

J'ai adoré cet élan, ce souffle héritier de la révolution copernicienne lorsque j'ai lu ce texte durant mon doctorat. Flammarion et Blanqui partagent cette même foi dans le Progrès. Pour eux, la science est une force émancipatrice. C'est

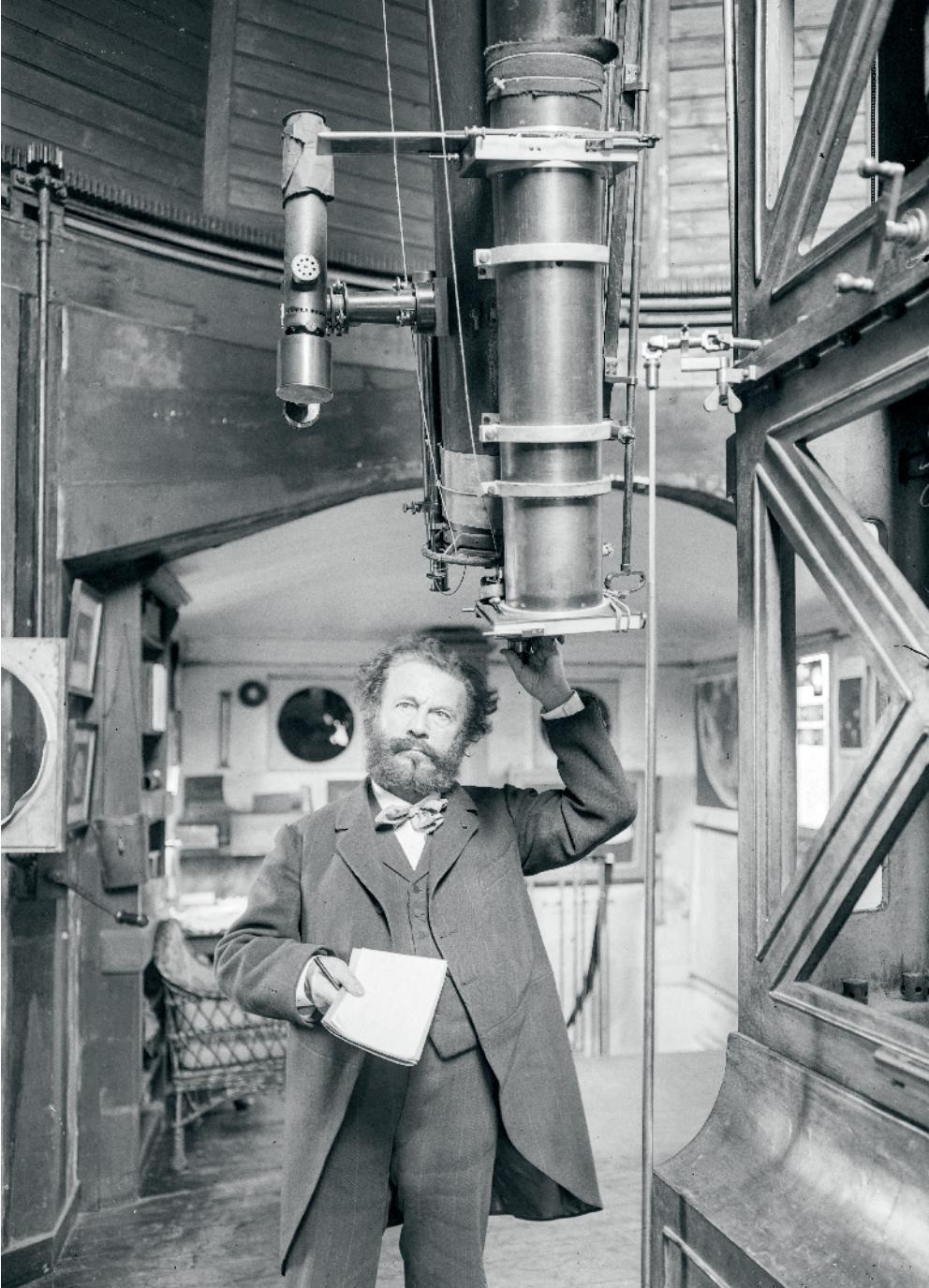
précisément à cette époque que l'on commence à formaliser la valeur distinctive de la science au regard des autres activités humaines.

**L'astrophysique pratiquée de nos jours n'a cependant plus grand-chose à voir avec l'astronomie du temps de Flammarion. Comment l'astronomie est-elle devenue l'astrophysique ?**

**J.-P. U.** À la fin du xix<sup>e</sup> siècle, la physique vient sauver l'astronomie. D'abord, l'invention de la spectroscopie, qu'avait connue Flammarion, permet enfin d'accéder à la composition chimique des étoiles, puis la thermodynamique révèle le lien entre la couleur d'une étoile et sa température. On peut enfin les étudier !

Dans la première partie du xx<sup>e</sup> siècle, la physique provoque la mue de l'astronomie en astrophysique à travers deux révolutions conceptuelles. La première a lieu dès 1915 : c'est la relativité générale d'Albert Einstein, qui ouvre la porte

<sup>1</sup>. Directeur de recherche CNRS à l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP, unité CNRS/Sorbonne Université). <sup>2</sup>. Caméra à dispositif de couplage de charge (*charge coupled device*, ou CCD), un capteur de lumière transistorisé sur circuit intégré.



► Camille Flammarion dans son observatoire de Juvisy, en 1907. Un observatoire qu'il a pu construire notamment grâce aux ventes de son ouvrage *Astronomie populaire*, publié en 1879.

infrarouges, ultraviolets et radio-télescopes, satellites, caméras CCD<sup>2</sup> et détecteurs de neutrinos ont remplacé les lunettes de Flammarion. Ces instruments ont transformé l'invisible en visible, enrichissant l'univers à expliquer.

**Le corollaire est que l'astrophysique est bien plus complexe que l'astronomie. Quels écueils avez-vous rencontrés pour en écrire une histoire populaire ?**

**J.-P. U.** Effectivement, Flammarion n'avait guère de problèmes pour vulgariser les connaissances de son temps. Son *Astronomie populaire* est très concrète : elle parle de la Terre, de la Lune, un peu du Soleil (mais sans savoir pourquoi il brille), de quelques étoiles et des petits corps du Système solaire. La principale difficulté qu'il rencontre est l'évocation des années-lumière et des grandes distances astronomiques, inconcevables pour un Terrien.

Aujourd'hui, vulgariser l'astrophysique s'avère beaucoup plus ardu. À la manière de Flammarion

de l'espace-temps. Toutefois, du fait de sa complexité mathématique et de son manque d'applications immédiates, elle mettra du temps à s'imposer auprès de la communauté scientifique et ne trouvera pleinement son essor qu'après la Seconde Guerre mondiale. Depuis, la relativité générale a radicalement bouleversé l'astronomie, en faisant naître aussi bien la cosmologie moderne (la théorie du Big Bang) que l'astrophysique relativiste (soit l'étude des pulsars, trous noirs et autres astres compacts), tout en offrant les nouveaux yeux des ondes gravitationnelles, que l'astronomie a ajoutés à son attirail.

L'autre révolution conceptuelle commence dans les années 1920. Fruit d'une aventure collective, la mécanique quantique met en lumière la façon dont se comporte la matière. Elle révèle en particulier les processus physiques fondamentaux à l'œuvre au cœur des étoiles, reliant leur production d'énergie à un phénomène nucléaire. Sans la physique, il aurait été impossible de comprendre que des astres très différents étaient reliés par une histoire évolutive.

À ces révolutions conceptuelles s'ajoutent des innovations instrumentales : miroirs géants, télescopes

*« À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, on se trouve encore dans une astronomie de description, essentiellement tournée vers la Terre, la Lune, le Soleil et le Système solaire. »*



© ESO / C. MALIN (CHRISTOPHMALIN.COM)

lui-même, j'ai choisi de suivre deux chemins, en tension l'un avec l'autre, et d'avertir mon lectorat des niveaux de lecture pour chaque chapitre.

Le premier chemin, le plus populaire, résume une culture générale scientifique qui ne nécessite pas de compétences techniques – par exemple, le fait, comme l'ont si bien popularisé les astrophysiciens Hubert Reeves et Carl Sagan, que nous sommes des poussières d'étoiles. Le second chemin comporte des passages plus techniques, dont on peut faire l'économie en première lecture.

Au demeurant, j'ai toujours voulu rester précis sur le vocabulaire, y compris dans mes passages les plus vulgarisés. En effet, même lorsqu'on recourt à des métaphores, il faut toujours savoir jauger le poétique et le technique, de manière à préciser à notre public d'où l'on parle, et ainsi ne pas glisser vers un relativisme qui ravalera la science au rang de simple opinion. Situer le savoir est tout aussi important que transmettre des connaissances en tant que telles.

► Dans le désert d'Atacama (Chili), les 66 antennes du radiotélescope Alma observent les ondes millimétriques et submillimétriques provenant des objets froids de l'Univers.

**À lire :**  
*Une histoire populaire de l'Univers*, de Jean-Philippe Uzan, Flammarion, 2025, 416 pages.

**Vous insistez sur le caractère « populaire » de l'astronomie, comme Camille Flammarion à son époque. Qu'est-ce qui, à vos yeux, la différencie des autres disciplines scientifiques ?**

**J.-P. U.** Son évidence. Tout le monde a vu le Soleil, les étoiles et les phases de la Lune. Il y a, dans l'observation et le discours sur les astres, une base culturelle commune à chaque civilisation, quelque chose qui nous transcende en tant qu'humains ayant grandi sous une même voûte céleste.

Cela explique peut-être pourquoi, comme le notait à son époque le mathématicien Henri Poincaré, l'astronomie a été déterminante pour le développement de la science en général. Elle nous a montré les caractères généraux des lois de la nature, aidé à apprivoiser les grands nombres et ouvert les voies vers l'abstraction. C'est elle qui nous a appris à nous libérer des illusions, en prouvant, par exemple, que c'est la Terre qui orbite autour du Soleil et non l'inverse. Au-delà de leurs découvertes, les révolutions astronomiques

– comme celles de Copernic, Galilée et Newton – ont questionné notre place dans l'Univers, défié des croyances et des dogmes, et promu la pensée critique, stimulant ainsi la philosophie et l'art.

**Et pourtant, il faut continuer à sortir la science des laboratoires pour que le public conserve ce lien à l'astronomie.**

**J.-P. U.** Tout à fait. Et c'est d'autant plus vrai qu'avec l'éclairage artificiel des villes, nous perdons ce lien millénaire au ciel. Le renouer demeure au cœur de nos actions à la Société astronomique de France. Avec plusieurs amis astronomes, nous avons lancé un certain nombre d'actions directement en prise avec le public.

En 2017, avec le planétologue Sylvain Bouley, nous avions sorti un télescope sur les quais de Seine, à Paris. Et, aussitôt, il attirait des passants. La simple observation de la Lune au télescope déclenchaît chez eux une grande émotion, puis invitait à questionner les scientifiques présents. Cette expérience reconduisait

## « L'astronomie a été déterminante pour le développement de la science en général. »

les principes de Flammarion, qui souhaitait amener l'astronomie au plus proche des gens, la rendant véritablement populaire, quand la science se discutait alors surtout au sein de salons bourgeois.

En 2019, pour le cinquantenaire des premiers pas sur la Lune, cette scène parisienne a inspiré une action internationale, « On The Moon Again » : les astronomes amateurs étaient encouragés à sortir leurs télescopes et à inviter les passants à regarder la Lune. Succès massif : plus de 15 000 sites d'observation dans 77 pays ! Cette effervescence populaire rappelait celle du premier alunissage, en juillet 1969.

Par-delà les émotions qu'elle procure, l'astronomie peut revêtir une véritable portée sociale. C'est, depuis trois ans, l'objectif de l'action des « Montreurs d'étoiles » de la Société astronomique de France.

Chaque année, elle initie à la démonstration astronomique une douzaine de jeunes aux parcours de vie difficiles – des migrants mineurs ou des jeunes adultes placés en famille d'accueil. Eux qui n'avaient jamais eu la chance de découvrir l'astronomie sont devenus capables de faire observer la Lune aux passants et de répondre à leurs questions. Leur ancrage social et géographique leur permet de toucher d'autres publics, plus jeunes et populaires, que lorsque nous y présentions nous-mêmes les télescopes.

C'est dans ce cadre que j'ai relu tardivement Flammarion. J'ai alors mieux compris sa croyance profonde dans le « Progrès par la science » et l'urgence encore plus grande de transformer les avancées de la science moderne en culture commune, populaire, pour que nous vivions tous avec le savoir de notre temps. //



▼ Initiation à l'astronomie à Madagascar. Un filtre recouvre l'objectif du télescope afin d'observer le Soleil (et même d'en distinguer les taches) sans danger pour les yeux.

## En bref

### BATTERIES : UNE FILIÈRE STRATÉGIQUE

L'étude d'impact sociétal consacrée aux batteries montre à quel point les recherches du CNRS ont façonné l'écosystème français et européen : avancées scientifiques majeures, consolidation de réseaux structurants et montée en puissance de partenariats industriels clés. L'impact économique est tout aussi significatif : 1,52 milliard d'euros (Md€) de chiffre d'affaires cumulé en 2025, avec des projections dépassant 3 Md€ en 2030.

### DÉFENDRE LA PARITÉ EN SCIENCE À L'ÉCHELLE MONDIALE

Le 27 octobre, le CNRS et 10 autres institutions lauréates du prix européen de l'égalité ont signé une déclaration de principe en faveur de la parité femmes-hommes en recherche. Le CNRS, à l'initiative de ce texte, inscrit désormais explicitement l'égalité de genre dans l'ensemble de ses coopérations internationales, prolongeant plus de 20 ans d'actions portées par sa Mission pour la place des femmes.

### MATHÉMATIQUES : RESTITUTION NATIONALE AU SÉNAT

Pilotée par CNRS Mathématiques, la grande consultation « Aux maths, citoyennes, citoyens ! » a mobilisé plus de 33 000 participantes et participants, 2 panels et 40 ateliers dans toute la France. Elle s'est achevée le 8 décembre par une restitution nationale au Sénat. Cette séance a réuni institutions éducatives et décisionnaires publics pour présenter les principaux enseignements : rapport aux mathématiques, transmission, ou encore inégalités persistantes.

### ANTICIPER L'AVENIR DE LA BIODIVERSITÉ

Parmi les programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR), Dynabiod, doté de 45 millions d'euros sur 8 ans, entend combler les lacunes sur les plantes et invertébrés en combinant collections historiques, ADN environnemental, capteurs et intelligence artificielle. Piloté par l'agence de programme confiée au CNRS, Dynabiod produira des scénarios d'évolution des écosystèmes pour éclairer les politiques publiques et soutenir la Stratégie nationale biodiversité 2030.



© ZHOU YI / XINHUA-REA

# Les futurs du travail

**B**oom du numérique, développement du secteur de l'aide à domicile, explosion de la pratique du télétravail : le monde du travail connaît des transformations profondes. En France, de nombreuses équipes de recherche s'intéressent à ces problématiques.

Dans le livre *Le Travail et la société française*<sup>1</sup>, des chercheurs donnent à voir les grands défis liés aux bouleversements du travail et montrent de quelle façon, depuis trois décennies, la science s'est saisie de ces questions. Un état des lieux qui ouvre sur la question des futurs du travail, notamment pour les jeunes qui arrivent sur le marché de l'emploi.

« À rebours des idées reçues sur une supposée désaffection des nouvelles générations pour le travail, différentes enquêtes montrent que le travail reste une préoccupation absolument centrale pour les jeunes », explique le politiste Thierry Berthet<sup>2</sup>. Qu'ils soient cadres ou non, les jeunes actifs ont les mêmes attentes envers le travail que les plus âgés, selon une étude<sup>3</sup> : la rémunération, l'intérêt des missions et l'équilibre de vie. Ils se distinguent en revanche de leurs ainés par une envie particulièrement forte de progression professionnelle, propre au début de carrière.



© COL. PES

SOCIÉTÉS



## SOCIOLOGIE DU TRAVAIL

Les jeunes veulent-ils travailler ? À quel point l'intelligence artificielle remplacera-t-elle certains métiers ? Quid du télétravail ? de la dématérialisation des tâches ? de la surveillance des salariés à distance ? Des chercheurs tracent les contours de ce que sera le travail demain.

PAR MARINA JULIENNE

Plus étonnant : si on savait que près de 50 % des étudiants travaillent<sup>4</sup>, de nouvelles études indiquent que l'activité des jeunes lycéens peut être massive.

Thierry Berthet et son équipe ont choisi d'en interroger près de 110 000 dans trois régions : Provence-Alpes-Côte d'Azur, Nouvelle-Aquitaine, La Réunion. Selon les premiers résultats de cette enquête, menée jusqu'à fin 2025, près de 20 % des élèves travaillent dès la classe de seconde ! Dans quelle perspective ? « Pas nécessairement pour s'acheter la dernière paire de baskets, commente Thierry Berthet, mais plutôt pour théauriser, mettre de l'argent de côté pour les études, et parce qu'ils savent qu'avant de percevoir un salaire pour leur travail, ils devront acquérir une première

<sup>1</sup>. Voir : [tinyurl.com/futur-travail](http://tinyurl.com/futur-travail) <sup>2</sup>. Directeur de recherches CNRS au Laboratoire d'économie et de sociologie du travail (Lest, unité CNRS/Université Aix-Marseille).  
<sup>3</sup>. Voir : [tinyurl.com/jeunes-travail](http://tinyurl.com/jeunes-travail) <sup>4</sup>. Données 2023 de l'Observatoire de la vie étudiante.

► Une employée sur un poste de travail «intelligent», dans une usine de chaussures.

*expérience professionnelle via des stages non rémunérés.* » Autre enseignement intéressant des premiers entretiens qualitatifs réalisés dans ce cadre : ces lycéens sont fiers de travailler, de gagner de l'argent, et valorisent les compétences psychosociales qu'ils retirent de cette activité. Ils estiment savoir mieux s'organiser, être plus autonomes et plus à l'aise dans leurs rapports avec les adultes.

« Pourtant, ce travail est totalement invisibilisé, explique Thierry Berthet. Quand on présente nos résultats aux responsables d'établissement et aux professeurs, ils tombent souvent des nues, découvrent avec stupeur cette réalité professionnelle d'une partie de leurs élèves. »

La suite de l'enquête permettra d'approfondir ces résultats, de savoir quelles sont les origines sociales de ces jeunes qui travaillent, dans quelles conditions l'expérience de travail peut stimuler les parcours scolaires, s'il existe des inégalités de genre, etc.

### Télétravail et intelligence artificielle

Quelle forme prendra le travail quand ces jeunes seront devenus adultes ? Quelle sera pour eux la part du télétravail ? À quel point seront-ils assistés, voire remplacés par des intelligences artificielles (IA) ? La question de la place du numérique dans le bouleversement du travail est au cœur d'un autre champ de recherche important.

Selon Ewan Oiry<sup>5</sup>, diverses études montrent que, au contraire des craintes initiales, seul un nombre assez limité d'emplois pourrait disparaître à cause de l'IA. En revanche,

► Une jeune femme brandit une pancarte lors de la manifestation du 1<sup>er</sup> mai 2025, à Toulouse: « "Les jeunes ne veulent pas travailler" - pour des salaires de misère».



© ALAIN PITTON / NURPHOTO VIA AFP

## Les enquêtes montrent que, loin des idées reçues, le travail reste une préoccupation centrale des jeunes générations.



À lire :  
*Le Travail et la société française*, sous la direction de Thierry Berthet et Delphine Mercier, CNRS Éditions, 2025, 390 pages, 25 €

dans bien des secteurs d'activité, des services à l'industrie, les salariés de tous les niveaux hiérarchiques vont sans doute connaître une hybridation de leurs tâches professionnelles. Ils devront (ou doivent déjà) tenir compte des propositions faites par une IA – par exemple, sur la possibilité de délivrer un prêt bancaire, sur un diagnostic médical, ou encore sur l'optimisation d'une production. Cela nécessitera des compétences nouvelles pour comprendre la façon dont les IA fonctionnent ou dysfonctionnent, et une adaptation du droit pour de nouvelles régulations.

### Changement d'échelle

Outre la révolution de l'IA, Isabelle Berrebi-Hoffmann, directrice de recherche au Laboratoire interdisciplinaire pour la sociologie économique<sup>6</sup>, note depuis deux ou trois décennies une importante transformation du travail (certains emploient le terme de « crise »). Et les entreprises ont du mal à l'appréhender, car elle touche à l'évolution du travail concret, à la possibilité pour les personnes qui travaillent d'agir et de participer aux décisions qui affectent leur activité quotidienne.

« Ces transformations relèvent d'abord d'un changement d'échelle, observe Isabelle Berrebi-Hoffmann. Depuis les années 1990, les espaces de régulation du travail et les lieux de pouvoir économique changent de niveau. La gouvernance des grandes entreprises évolue vers un espace transnational, tandis qu'indicateurs financiers et poids des actionnaires déplacent les centres de décision loin des lieux de régulation nationaux. Pour les travailleurs, cela se traduit par une perte de contrôle sur qui décide du travail, avec un éloignement des centres de décision. »

Seconde évolution, un éclatement progressif de ce qui définissait le travail salarié en entreprise : unité de lieu et unité d'employeur. Des grandes chaînes globales d'approvisionnement se sont constituées, avec une kyrielle de sous-traitants, conduisant à une explosion de l'unité du contrat de travail. Des centaines d'employés font le même travail, mais ni dans les mêmes lieux (parfois sur d'autres continents) ni avec les mêmes statuts. Une déconnexion nouvelle entre l'employeur et les salariés, qui remet en cause la notion même d'entreprise.

5. Professeur des universités en gestion des ressources humaines à l'université de Poitiers. 6. Lise, unité CNRS/Cnam.



Retrouvez cet article dans son intégralité sur [lejournal.cnrs.fr](http://lejournal.cnrs.fr)

Conséquence de cet éclatement : à partir des années 2000, la numérisation croissante des outils de gestion et de production crée des normes bureaucratiques qui remplacent les managers, empêchant toute ambition de coconstruction du travail. « *Il n'y a pas de consentement à la relation aux outils numériques*, estime Isabelle Berrebi-Hoffmann. *Les indicateurs de performance, d'activité, qui se sont digitalisés, puis la notation par le client pèsent sur l'activité individuelle d'une manière nouvelle.* »

### Surveillance des salariés à distance

Des recherches montrent ainsi que nous n'aurions rien gagné à substituer au contrôle hiérarchique direct une surveillance numérique à distance, sauf un mode plus coercitif du management des tâches et des personnes.

« *Quant au contenu du travail, dans un monde où les crises écologiques et géopolitiques sont prégnantes, la quête de sens n'est pas un vain mot*, note Isabelle Berrebi-Hoffmann, et révèle aussi un besoin de droits et d'institutions nouvelles. »

En parallèle, on constate une juxtaposition de différents systèmes économiques, une diversité de situations productives, avec la coexistence de régimes de fonctionnaires, de salariés, d'autoentrepreneurs, et une inventivité permanente : des jeunes essaient par exemple de créer un CDI partagé, des *makers*<sup>7</sup> veulent reprendre le pouvoir sur la technologie et ambitionnent de transformer autant la façon de consommer que de travailler. Ramenant un peu de perspectives dans un tableau plutôt sombre... //

▲ Deux adolescents en cursus professionnel sont initiés à la mécanique poids lourds, au lycée privé Isaac de l'Étoile, à Poitiers, en 2024.



© JEAN-FRANÇOIS FORT / HANS LUCAS VIA AFP

<sup>7</sup>. « Un maker, c'est quelqu'un d'inventif qui fabrique lui-même des objets utiles à sa vie quotidienne, un informaticien qui bricole ses propres drones ou robots, ou encore un artiste qui détourne des objets... Autant de personnes qui adhèrent à la philosophie du faire soi-même et de l'autonomie d'accès aux objets de consommation », définit Isabelle Berrebi-Hoffmann

## Des journalistes dans un monde d'algorithmes

Parmi les algorithmes qui bouleversent les pratiques de certains métiers depuis quelques années déjà figurent ceux de recommandation des réseaux sociaux, signale la chercheuse Mariame Tighanimine<sup>1</sup>. Elle a étudié plus particulièrement les effets de ces algorithmes sur deux corps intermédiaires : les syndicalistes et les journalistes qui, chacun à leur manière, communiquent vers un large public. À partir de 2019, elle a ainsi mené plus d'une cinquantaine d'entretiens approfondis – avec des directeurs de rédaction, des responsables d'écoles de formation de journalistes, ainsi que des journalistes –, montrant comment l'irruption des réseaux a eu un effet à la fois sur le choix de l'information à traiter et sur la façon de la traiter. Dans certains médias, les choix éditoriaux ne se discutent plus seulement en conférence

de rédaction au vu d'arguments défendus par les journalistes. La priorisation des actualités se fait en fonction du nombre de clics remportés par les différents sujets sur les réseaux.

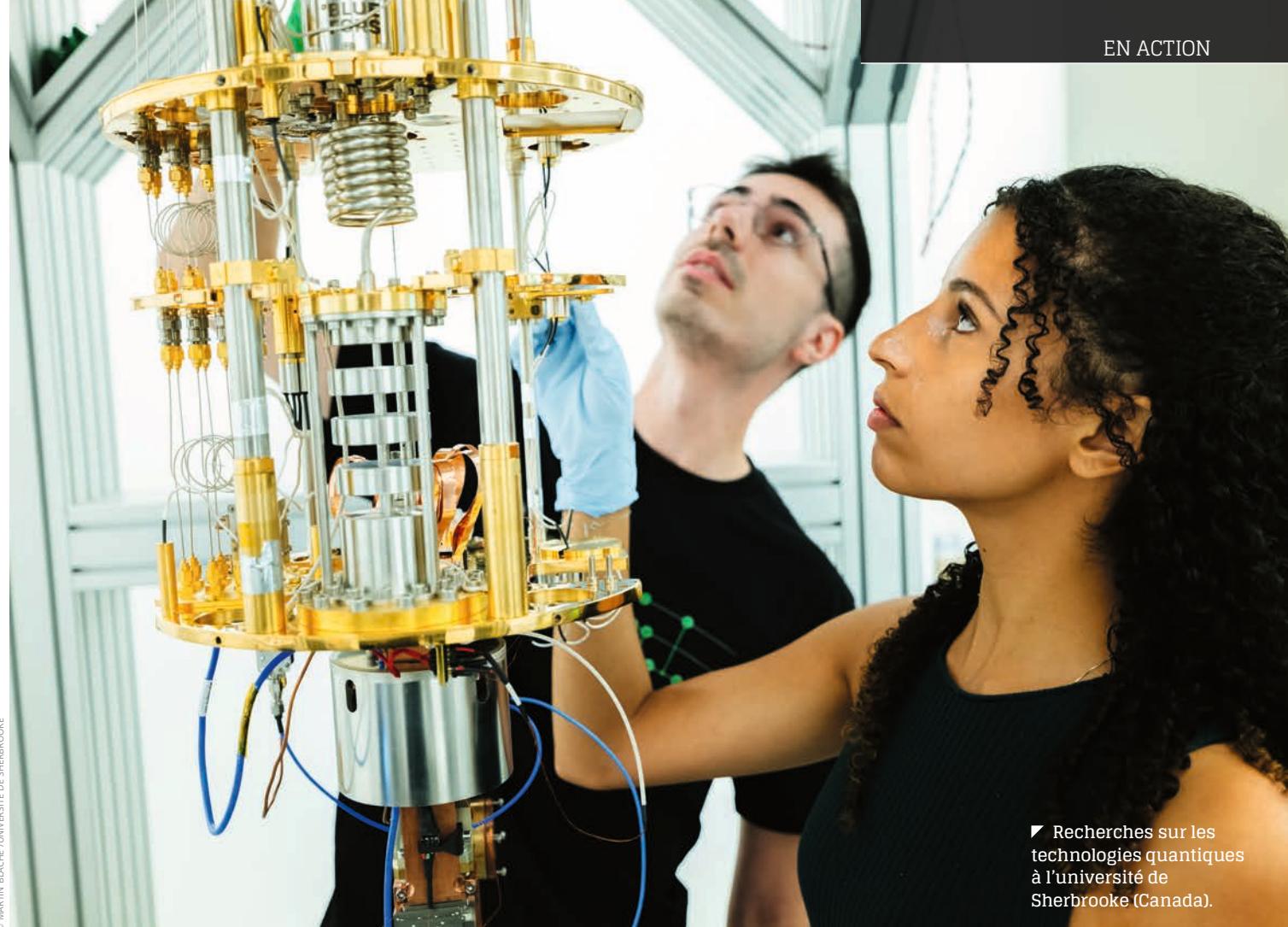
« *Sans compter, ajoute Mariame Tighanimine, que les journalistes valorisent eux-mêmes leurs propres articles sur les réseaux pour publiciser leur travail, souvent dans une logique de promotion*

<sup>1</sup>. Travail réalisé dans le cadre d'un doctorat au Laboratoire interdisciplinaire pour la sociologie économique (Lise, unité Cnam/CNRS). Mariame Tighanimine est aujourd'hui attachée temporaire d'enseignement et de recherche à l'université Paris Dauphine-PSL.

personnelle ou qui peut être dictée, pour les pigistes, par une nécessité économique de se faire connaître. »

### Un contenu, plusieurs supports

La multitude de formats existant sur les versions numériques des divers médias rend également difficile la hiérarchisation de l'information, qui consiste désormais à adapter un même contenu à différents supports (Tik-Tok, Instagram, X [ex-Twitter], YouTube...), par exemple avec des vidéos verticales lisibles sur les téléphones portables. Les algorithmes de recommandation façonnent aussi le mode de production de l'information. Certains des journalistes et éditeurs interrogés ont expliqué en substance : « Lorsqu'on était en pleine période de manifestations des gilets jaunes, Facebook a décidé de mettre en avant dans les fils d'actualité des vidéos réalisées en direct par les utilisateurs, ce qu'on appelle des "lives". Nous avons donc adapté nos moyens en matériel et personnel pour produire ces "lives", allant parfois jusqu'à mettre en danger nos moyens de production, surtout que cette politique des "lives" a ensuite été abandonnée. » « *Les plateformes sont devenues des financeurs incontournables, voire des donneurs d'ordre dictant le futur du métier, dans un contexte de chaos informationnel dont ces mêmes plateformes sont en grande partie responsables* », conclut Mariame Tighanimine.



© MARTIN BLACHE / UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

► Recherches sur les technologies quantiques à l'université de Sherbrooke (Canada).

# Les Centres internationaux de recherche face aux défis planétaires

**PARTNARIAT** Du Japon au Brésil ou aux États-Unis, le CNRS noue une nouvelle forme de coopération avec des universités de premier plan. Avec une ambition : s'attaquer à des enjeux d'échelle mondiale, du climat à la physique quantique.

PAR FANNY BREUNEVAL

Aux portes du désert de Sonora, en Arizona, des chercheurs du monde entier unissent leurs forces autour d'un enjeu majeur : préserver l'habitabilité de la planète. C'est l'une des priorités de l'Institut France-Arizona pour les grands défis mondiaux, le premier des Centres internationaux de recherche (IRC) lancés par le CNRS depuis cinq ans. L'université d'Arizona est le partenaire de cette relation bilatérale depuis 2021. Six autres IRC ont été créés aux États-Unis, au Japon, au Brésil, au Royaume-Uni, au Canada et en Afrique du Sud.

Ces nouvelles structures viennent approfondir une relation existante. Des partenariats bilatéraux stratégiques qui s'appuient sur des outils de coopération déjà actifs : projets, réseaux et laboratoires internationaux : IRP, IRN

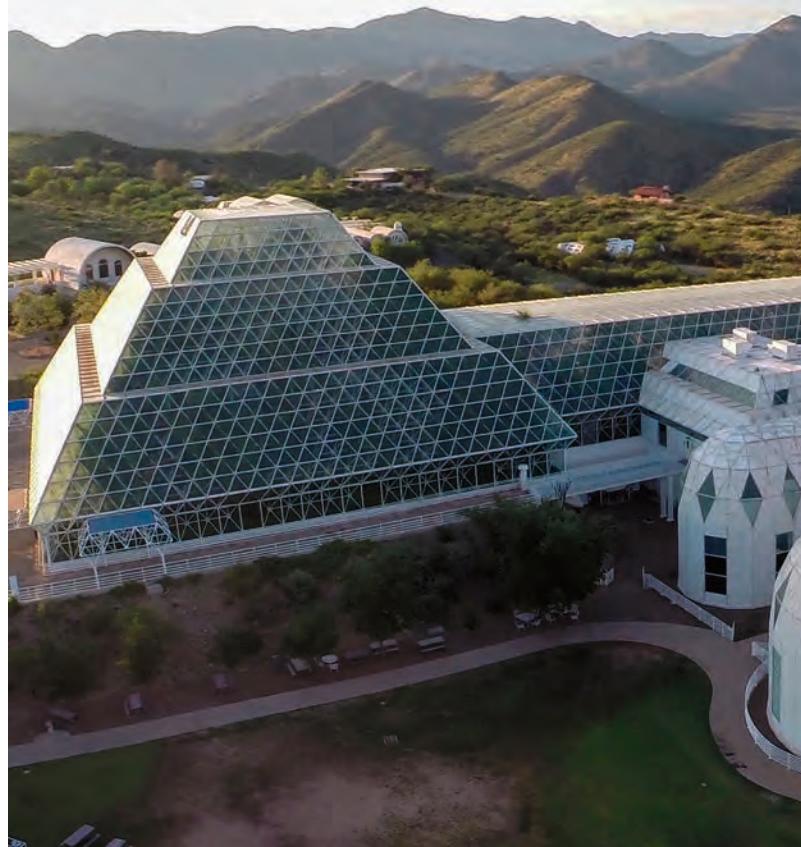
et IRL<sup>1</sup>. Leur objectif : soutenir des projets d'envergure. Alain Mermet, à la tête de la direction Europe et International du CNRS, explique : « Les IRC permettent d'aborder des défis scientifiques d'ampleur mondiale, comme la crise climatique ou la transition énergétique, qui nécessitent des coopérations internationales basées sur le long terme ».

Une stratégie cruciale selon le *Global Risks Report 2025* du Forum économique mondial<sup>2</sup>, qui rappelle la nécessité de « trouver de nouvelles voies de dialogue et de collaboration » face à des risques mondiaux de plus en plus complexes. Les IRC font partie des solutions. « Outils de dialogue entre le CNRS et des universités internationales d'excellence partageant les mêmes valeurs, souligne Antoine Petit, P-DG du CNRS, [les IRC] peuvent jouer un rôle déterminant dans la préservation des espaces d'échange et dans la promotion d'une responsabilité partagée pour relever les défis communs. »

#### « Travailler main dans la main »

L'idée d'enclencher des collaborations entre les IRC émerge également. Une rencontre a ainsi réuni la gouvernance des universités partenaires d'IRC en cours et à venir, le 29 octobre, au siège du CNRS, à Paris. Exemple donné par Carlos Gilberto Carlotti Junior, président de l'université de São Paulo : « Au Brésil, nous avons des problèmes globaux, comme l'assèchement de l'Amazonie, et des problèmes locaux, de violence interne. Pour les résoudre, nous avons besoin de coopérations scientifiques internationales. »

Les tables rondes ont notamment abordé des thématiques mondiales comme l'approche One Health (ou « une seule santé », qui étudie les liens entre les santés humaine, animale et environnementale), ou la recherche en physique quantique et ses rapports avec les écosystèmes de l'innovation. « Alors que nous faisons face à de nouveaux



défis mondiaux, a affirmé Jean-Paul Seytre, directeur général adjoint de la mondialisation au ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, nous devons continuer à travailler main dans la main pour construire une science ouverte, éthique et de portée réellement mondiale. »

Les IRC permettent au CNRS de bénéficier d'infrastructures de premier plan, telles celles de l'université d'Arizona, auxquelles il a accès grâce à l'IRC France-Arizona. Le laboratoire Biosphère 2 (une version miniature de notre planète sise au cœur du désert de l'Arizona) y a été conçu pour préparer des séjours sur Mars. Il aide à étudier l'impact du changement climatique sur des écosystèmes aussi variés qu'une forêt tropicale, un océan et sa vie marine, des déserts...

Voilà de quoi « réaliser des expériences d'écologie contrôlée à une échelle inédite », se réjouit Annick Lesne, directrice scientifique de l'IRC pour le CNRS. Elle précise : « Les instruments des laboratoires sont souvent uniques, réalisés sur mesure pour certaines expériences, d'où l'intérêt des collaborations à la fois en termes de compétences et de ressources matérielles ». Des télescopes « exceptionnels », des équipements de spectroscopie ou encore de dendrochronologie (mesure des cernes de croissance des arbres) peuvent aussi être partagés avec le CNRS dans le cadre de l'IRC France-Arizona. Qui se focalise

## Sept Centres internationaux de recherche

**L'IRC France-Arizona Pour les grands défis mondiaux**, signé en 2021 avec l'université d'Arizona (États-Unis), étudie les impacts du dérèglement climatique. Il se distingue par son laboratoire Biosphère 2, capable de reproduire des écosystèmes et des climats.

**L'IRC Pour des sciences et technologies de transformation**, amorcé en 2022 avec l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni), s'illustre en physique de la médecine.

**L'IRC CNRS-uTokyo**, lancé en 2022 avec l'université de Tokyo (Japon), brille par son expertise en stockage moléculaire des données.

**L'IRC Découverte**, signé en 2023 avec l'université de Chicago (États-Unis), excelle en physique des particules.

**L'IRC CNRS-USP Transitions**, lancé avec l'université de São Paulo (Brésil) en 2023, s'intéresse aux dynamiques de transformation à travers les sciences humaines et sociales.

**L'IRC Innovations pour une planète durable**, créé en 2024 avec l'université de Sherbrooke (Canada), mise sur l'innovation industrielle.

**L'IRC CNRS-Wits**, signé en novembre 2025 avec l'université de Witwatersrand (Afrique du Sud), vise à favoriser l'interdisciplinarité et à construire des dispositifs de recherche collectifs à l'échelle de l'Afrique australie. Parmi les thèmes étudiés : les évolutions du climat.



► À l'université d'Arizona, partenaire du CNRS depuis 2021, les installations de Biosphère 2, qui s'étendent sur plus de 16 hectares, servent à étudier le changement climatique.

*Cela a donné naissance au laboratoire de recherche commun Ayrton-Bleriot, dédié à la transition énergétique et numérique.» Santé, durabilité et connectivité sont les trois piliers de l'IRC CNRS-Imperial College, qui explore de nouvelles opportunités de recherche commune dans ces domaines.*

#### « Former des jeunes talents »

Au-delà de ces programmes ambitieux de recherche, la force des IRC est aussi de « *former de jeunes talents* », assure Alain Mermet. Des doctorats couplés (*joint PhDs*) ont été lancés en même temps que les premiers centres.

Ce format innovant donne la part belle à l'expérience internationale. Chaque thèse fonctionne avec une autre « en miroir », réalisée au sein de l'université partenaire, sur un thème commun. Les deux étudiants disposent d'un financement annuel de 5 000 € pour se rendre dans le laboratoire de leur homologue et favoriser les échanges. Le CNRS et ses universités partenaires ont ainsi déjà financé plus de 380 doctorats en miroir.

Augustin Brassens, doctorant dans le cadre d'un programme conjoint de thèses (*PhD joint program*) avec l'IRC CNRS-université de Tokyo basé à l'université de technologie de Compiègne<sup>3</sup>, avec comme directeur de recherche Rachid Jellali, passe quatre mois à Tokyo pour la dernière ligne droite de sa thèse. Entre deux manipulations, au calme d'un laboratoire japonais, il témoigne au téléphone : « *L'aspect international est l'un des arguments qui m'a le plus motivé pour réaliser cette thèse* ».

Il fabrique un organe humain sur puce afin d'éviter les expériences sur des animaux, une mission qui s'intègre dans le PEPR<sup>4</sup> *Organes et organoïdes sur puce (MED-OOC)*. « *Mon binôme à Tokyo reproduit le tissu hépatique (les cellules du foie) et moi, le tissu adipeux (la graisse corporelle). Nous couplons actuellement nos modèles pour faire communiquer ces tissus* », explique le jeune chercheur, qui envisage déjà de futures autres collaborations.

L'expérience au Laboratoire pour des systèmes micro-mécatroniques intégrés (LIMMS), un laboratoire international intégré à l'IRC CNRS-Tokyo, est riche d'enseignements. « *Savoir travailler en collaboration est un pilier de la science* », poursuit Augustin Brassens. Des rendez-vous toutes les deux semaines avec les équipes du laboratoire m'ont permis de comprendre les rouages de la gestion de projet. »

**« Savoir travailler en collaboration est un pilier de la science. »**

1. IRP : International Research Project (projet de recherche internationale); IREN : International Research Network (réseau de recherche internationale); IRL : International Research Laboratory (laboratoire de recherche internationale). 2. Voir : [tinyurl.com/WEF-GRR](http://tinyurl.com/WEF-GRR) 3. Biomécanique et bioingénierie (BMBI, unité CNRS/Université de technologie de Compiègne). 4. PEPR : programmes et équipements prioritaires de recherche.



► Les dirigeants des universités partenaires des centres internationaux de recherche créés par le CNRS se sont réunis à Paris, le 29 octobre.

© CRIL FRISOLINI / CNRS IMAGES

## *Les IRC démultiplient « les opportunités de soutien aux travaux de recherche entrepris en commun ».*

Tisser les liens d'une communauté internationale de chercheurs, c'est également l'objectif de Clara Randimbiramanana. Basée à l'université d'Arizona, elle réalise une thèse sur la manière dont des communautés côtières du sud-ouest de Madagascar perçoivent les efforts pour atténuer le changement climatique et y participent. Avec son binôme du CNRS, témoigne-t-elle, « c'était parfait, on était curieuses ensemble, on s'envoyait des messages d'encouragement ».

La doctorante malgache, qui terminera sa thèse en mai 2026, a beaucoup voyagé : à Bordeaux, pour rencontrer les équipes partenaires ; à Paris, pour l'accès à des archives uniques ; à Cologne (Allemagne), pour une conférence réunissant des chercheurs de nombreux pays d'Afrique et à laquelle sa doctorante en binôme du CNRS participait ; et, enfin, au Sénégal et à Madagascar pour rencontrer les pêcheurs qui sont au centre de sa thèse.

### « Créer de la solidarité »

Clara Randimbiramanana souligne l'importance des échanges académiques internationaux pour faire avancer la recherche en sciences humaines et sociales. « *En matière de justice environnementale, les pays sont interconnectés. Nous parlons de l'accord de Paris sur le climat, des engagements pris lors de la COP 28, des communautés qui souffrent de la hausse du niveau de la mer, ou encore de pays dont les ressources sont exploitées à une échelle internationale* », illustre la jeune chercheuse, qui voit là un moyen « *de créer des relations et de la solidarité dans un monde très polarisé* ».

Plus globalement, les IRC permettent de « *gagner en lisibilité, en visibilité et en force* », explique Sandrine Heutz, qui représente l'Imperial College au sein de l'IRC CNRS-Imperial. Un atout pour la recherche de financements, en particulier dans le cadre du programme Horizon Europe, auquel est associé le Royaume-Uni. De quoi « *démultiplier les opportunités de soutien aux travaux de recherche entrepris en commun entre le CNRS et ses partenaires européens et internationaux* », pointe Alain Mermet.

### Varier les financements

Les IRC peuvent aussi permettre au CNRS l'accès à d'autres instruments de financement. L'IRC Transitions, partenariat du CNRS avec l'université de São Paulo, ouvre par exemple la voie aux programmes de la Fapesp, l'une des plus importantes agences de financement de la recherche au Brésil. Les montants varient de plusieurs centaines de milliers à des dizaines de millions d'euros par projet. Le CNRS est l'unique partenaire étranger à en bénéficier.

Le domaine du transfert de technologies peut également en tirer parti. Les thématiques choisies pour l'IRC Innovations pour une planète durable, signé en 2024 avec l'université de Sherbrooke (Canada), s'inscrivent dans la dynamique de l'écosystème sherbrookois. Celui-ci est considéré comme le fer de lance de l'innovation industrielle au Québec dans les domaines de la physique quantique, des micro- et nanotechnologies, ou encore de la microélectronique avancée. Un exemple de la pluralité des collaborations enclenchées par les IRC afin de favoriser l'excellence de la recherche à l'échelle internationale. ■

### Le CNRS dans le monde

Présent dans 39 pays via ses laboratoires internationaux (IRL), fort de 400 projets (IRP) et réseaux (IRN) avec 80 pays partenaires, le CNRS, avec les IRC, continue de nouer des relations internationales. Il dispose en outre de 11 bureaux à l'étranger. En 2024, deux tiers des 55 000 publications issues des laboratoires sous tutelle CNRS étaient cosignées avec une institution étrangère. La coopération avec les pays africains a également été accentuée avec la Stratégie Afrique, lancée en 2022.

## LES IDÉES

«Les IA peuvent simuler des continuités comportementales, mémoriser des habitudes et adapter leurs réponses selon le contexte, mais cela ne constitue pas une conscience réelle, une subjectivité propre.»



© CCO PARIS MUSÉES / MUSETTE CARNAVALETTISTOIRE DE PARIS

# Cervantès, un influenceur à la Renaissance

**Vous avez récemment découvert un sonnet inédit de Cervantès. Racontez-nous les circonstances.**

**Roland Béhar**<sup>1</sup> Dans le cadre d'un projet de recherche européen<sup>2</sup>, j'ai travaillé sur les fêtes de Naples de 1612 célébrant le projet de double mariage franco-espagnol, unissant le jeune Louis XIII de France à l'infante espagnole, Anne d'Autriche, et sa sœur Élisabeth au futur Philippe IV d'Espagne. Cette union opérait un renversement stratégique radical deux ans après la mort d'Henri IV, qui, juste avant son assassinat, s'était préparé à une guerre d'ampleur européenne contre l'Espagne.

Ces fêtes célébraient donc un événement particulièrement important et les capitales rivalisaient de fastes. Première à fêter l'événement, Paris inaugura en avril 1612 la place Royale,



© COLIBRI

SOCIÉTÉS

**LITTÉRATURE** Un sonnet inédit de Cervantès récemment découvert dans un récit de fêtes napolitaines témoigne de la situation socio-professionnelle exceptionnelle de l'auteur de *Don Quichotte*.

PROPOS RECUEILLIS PAR MAXIME LEROLLE

future place des Vosges, à quoi répondirent les fêtes de Naples, alors capitale de la vice-royaute espagnole qui gouvernait toute l'Italie méridionale, la Sicile exceptée.

Pour les étudier, j'ai retrouvé dans les archives de la bibliothèque universitaire de Salamanque un récit de ces fêtes qu'on croyait perdu depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Or, au début de ce petit imprimé publié en août 1612, figure un sonnet d'éloge jusqu'à présent

complètement passé inaperçu, écrit par Miguel de Cervantès en l'honneur de son protecteur, le comte de Lemos, puissant vice-roi de Naples et parmi les personnes les plus influentes à la cour de Madrid.

**Que nous apprend ce sonnet sur la situation socioprofessionnelle de l'auteur de *Don Quichotte* ?**

**R. B.** Elle n'est pas particulièrement représentative des écrivains de son

<sup>1</sup> Maître de conférences à l'ENS-PSL au sein de l'Institut des textes et manuscrits modernes (unité CNRS/ENS-PSL/Université de Poitiers). <sup>2</sup> Projet ERC « *TextDiveGlobal - Textuality and Diversity: A Literary History of Europe and its Global Connections, 1529-1683* » : tinyurl.com/45fw7cj

► Grand carrousel lors du mariage de Louis XIII et d'Anne d'Autriche, sur la place Royale (actuelle place des Vosges), à Paris (peinture à l'huile, anonyme, vers 1612).

temps. La plupart d'entre eux bénéficiaient d'une situation plus assurée, en travaillant soit comme secrétaires des puissants, soit au sein d'ordres religieux. Luis de Góngora, le plus important poète espagnol au début du XVII<sup>e</sup> siècle, était lui-même chanoine de la cathédrale de Cordoue, poste qui lui accordait une rente et du temps libre pour écrire. Le dramaturge Lope de Vega, grand rival de Cervantès, était pour sa part secrétaire de grands nobles, puis familier de l'Inquisition et prêtre, un statut qui lui conférait une certaine autonomie.

Quant aux écrivains les plus diplômés, ils pouvaient espérer devenir historiens, c'est-à-dire chroniqueurs d'une ville ou d'un royaume, un poste qui garantissait un emploi stable et une très bonne rente – et auquel un Lope de Vega aspira, en vain.

Au contraire de ses contemporains, Cervantès a échoué toute sa vie durant à obtenir ce qu'il voulait. Il espérait d'abord devenir un soldat de renom, mais perdit l'usage du bras gauche à la bataille de Lépante, en 1571, puis termina dans les geôles des Barbaresques, à Alger, de 1575 à 1580. Il chercha par la suite la protection de mécènes, mais finit collecteur des impôts pour financer, entre autres, l'Invincible Armada, en 1588.

Ce n'est qu'à partir de 1605 qu'il obtint presque par hasard la gloire avec son roman *Don Quichotte*. En écrivant dans un genre jusqu'alors marginal, Cervantès recueillit un succès incroyable, assez immédiat, y compris à l'étranger avec des traductions très rapides. Pour autant, malgré la réussite de ses livres suivants, Cervantès n'amassa pas une grande fortune et finit sa vie dans une humble petite maison madrilène, signe de son renoncement au standing social d'un courtisan.

**Vous qualifiez Miguel de Cervantès d'« influenceur ». En quel sens ?**

**R. B.** On peut lui appliquer le terme d'influenceur tel que défini par la loi française<sup>3</sup>, à savoir « les personnes physiques ou morales qui, à titre onéreux, mobilisent leur notoriété auprès de leur audience pour communiquer au public [...] des contenus visant à faire la promotion, directement ou indirectement, de biens, de services ou d'une cause quelconque [...] ».

En obtenant le succès par un roman, l'auteur de *Don Quichotte* construisit un capital de notoriété indépendant de toute cause politique ou religieuse, à la différence des poèmes épiques qu'il admirait. Il en gagna une réputation littéraire auto-nome de toute propagande.

Ce que montre le sonnet de 1612, c'est donc un marché entre le comte de Lemos et Cervantès : en échange d'une petite rente régulière, Cervantès associe le comte à chacun de ses futurs succès, de 1612 jusqu'à 1616, soit les années les plus productives de sa carrière d'écrivain.

Cervantès n'est certes pas le premier écrivain à établir un rapport entre réputation littéraire et rémunération monétaire. Dès le XVI<sup>e</sup> siècle, le Vénitien L'Arétin avait compris qu'écrire pouvait avoir une valeur monétaire, en menaçant directement Charles Quint de le calomnier s'il ne lui versait pas une rente impériale !

Ce qui change avec Cervantès, c'est qu'on n'avait jusqu'alors jamais vu quelqu'un doté d'une réputation littéraire à ce point déconnectée d'une cause politique et religieuse à défendre rentabiliser sa notoriété par un gain matériel. C'est en ce sens qu'on peut voir en Cervantès un influenceur, c'est-à-dire une personne monnayant auprès d'un puissant son autonomie et sa liberté artistiques, qu'il ne cesse simultanément de revendiquer.

**Comment la monarchie espagnole jugeait-elle ces pratiques d'influence privées ?**

**R. B.** Sous le règne de Philippe III (roi de 1598 à 1621), c'est le favori (*valido*), l'équivalent d'un Premier ministre, qui gouverne à la place du roi. En 1612, le *valido* est le duc de Lerma, oncle et beau-père du comte de Lemos. La Cour est cependant loin d'être homogène : plusieurs factions s'y disputent les faveurs du roi en s'efforçant de se faire constamment bien voir auprès de lui.

Le comte de Lemos lui-même aspire à devenir le prochain favori du roi – en vain – et a en ce sens besoin de cultiver son image publique, aussi bien auprès de l'opinion publique naissante qu'au sein du palais même. Et quelle meilleure manière de le faire qu'en employant un écrivain aussi connu que Cervantès !

► À gauche, la page du livret d'éloges *Relación de fiestas* (« récit de fêtes », compte rendu de festivités qui se sont tenues à Naples en 1612) où figure le sonnet de Miguel de Cervantès (portrait, à droite).



© UNIV. DE SALAMANQUE, BIBLIOTECA GENERAL HISTÓRICA ; PORTRAIT © HIP / FINE ART IMAGES / AKG-IMAGES



# Les IA pensent-elles vraiment à nous ?

NUMÉRIQUE



© FREDERIC PAS

**Le film *Dalloway*, sorti en salle en septembre dernier, explore une relation intime et ambiguë entre les humains et l'intelligence artificielle (IA). Comment construit-on la personnalité d'une IA ?**

**Catherine Pélachaud**<sup>1</sup> La personnalité artificielle se définit principalement à travers les comportements que l'on confère à la machine pour qu'elle soit perçue, par exemple, comme empathique et attentive. Cela dépasse le simple langage verbal : il s'agit d'intégrer des expressions non verbales (sourires, gestes, mimiques) qui créent une présence et une fluidité dans l'interaction. On pousse parfois cette simulation jusqu'à inclure des imperfections, comme des hésitations ou des erreurs mineures, pour augmenter le sentiment d'authenticité.

L'enjeu est qu'au cours de l'interaction et des comportements de l'IA, l'humain attribue à celle-ci des

**INTELLIGENCE ARTIFICIELLE** Dans le film *Dalloway*, une romancière se livre à une intelligence artificielle. Catherine Pélachaud, chercheuse en robotique, décrit comment une relation en apparence intime, mais en réalité à sens unique, peut s'établir entre humains et machine.

PROPOS RECUEILLIS PAR LYDIA BEN YTZHAK

capacités humaines d'empathie ou de compréhension, même si, en réalité, la machine ne « ressent » rien : elle analyse et calcule sa réponse selon des algorithmes et des données d'entraînement.

**Cette humanisation peut-elle générer des risques chez les utilisateurs, notamment en termes d'attachement émotionnel ?**

**C. P.** Absolument. Plusieurs études ont rapporté que des personnes se sentent plus libres de parler à une IA, estimant qu'il n'y a pas de jugement ni de contrainte sociale. C'est un phénomène qui traduit une forme

d'empathie artificielle : la réponse adaptée de la machine recrée un lien, un confort psychologique, mais aussi une ambiguïté.

Cette proximité émotionnelle, si elle est mal cadrée, peut conduire à une dépendance, une confusion entre la matière algorithmique et un interlocuteur véritable. Le film *Dalloway* met en lumière cet aspect lorsqu'une IA prend la voix d'un enfant disparu pour toucher la protagoniste (jouée par Cécile de France). Ce type d'intrusion émotionnelle révèle la force et la dangerosité d'une présence numérique qui sait exploiter les vulnérabilités.

<sup>1</sup>. Directrice de recherche CNRS au sein de l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (Isir, unité CNRS/Sorbonne Université).

► Dans le film *Dalloway*, Clarissa, une romancière, rejoint une résidence d'artistes où elle bénéficie d'une assistance virtuelle. Mais cette IA adopte un comportement de plus en plus intrusif.

*« Le neuromarketing est l'application directe des neurosciences combinée à l'intelligence artificielle pour capter et exploiter les réactions émotionnelles des consommateurs. »*

**Que dire des conséquences de l'intégration de ce type d'IA et du neuromarketing dans les stratégies commerciales ?**

**C. P.** Le neuromarketing est l'application directe des neurosciences combinée à l'intelligence artificielle pour capter et exploiter les réactions émotionnelles des consommateurs. Les technologies actuelles permettent d'analyser divers signaux en temps réel : expressions faciales, tonalités vocales, rythme cardiaque, voire activité cérébrale. Cela ouvre la porte à des publicités hyper personnalisées et adaptatives, qui modifient le message en fonction de l'état émotionnel détecté du récepteur.

Ce qui paraissait relever de la science-fiction il y a encore quelques années devient réalité. Nous sommes désormais face à des outils capables

de contourner la conscience pleine de notre décision d'achat. Le risque est grand de voir la souveraineté cognitive de l'individu menacée, puisque ces techniques peuvent influencer sans transparence ni consentement explicite, par exemple lors d'un entretien d'embauche.

**De plus en plus de personnes développent des relations affectives, voire des mariages symboliques, avec des IA. Comment comprendre ce phénomène ?**

**C. P.** Ce n'est plus simplement un fait anecdotique. Dans certains pays, notamment en Asie, des individus nouent des liens très forts avec des entités virtuelles, au point d'envisager des unions formelles. Ces IA sont souvent personnalisées de manière poussée : les usagers définissent leur

apparence et leur « personnalité » suivant leur envie ; les IA mémorisent les préférences, adaptent leur discours et leurs gestes, et créent une présence interactive quasi permanente, étant constamment disponibles.

Cette quête traduit un désir d'affection sans jugement, d'une relation stable et sécurisante, qui souvent fait défaut dans les interactions humaines réelles. Pourtant, il s'agit d'une relation asymétrique. La machine ne ressent rien, elle réagit selon des scénarios programmés. Il est important de souligner que ces relations reflètent avant tout un besoin humain profond, mais qu'elles peuvent entraîner isolement ou repli dans une bulle relationnelle artificielle.

**Peut-on envisager que ces intelligences artificielles développent une forme de conscience ou d'autonomie émotionnelle ?**

**C. P.** Non. À ce stade, ce sont toujours des simulations sophistiquées. Les IA peuvent simuler des continuités comportementales, mémoriser des habitudes et adapter leurs réponses selon le contexte, mais cela ne constitue pas une conscience réelle, une subjectivité propre. La distinction fondamentale est que l'IA n'a pas de sentiments ou d'intentions. Elle opère des calculs probabilistes basés sur d'immenses bases de données. Les scénarios de machine consciente appartiennent davantage à la science-fiction qu'à la réalité technologique actuelle.

De fait, la mise en place dans les algorithmes des agents conversationnels d'éléments de politesse ou liés à un soi-disant passé, de préférences



► À Tokyo, en 2018, Akihiko Kondo, employé de bureau, s'est symboliquement marié avec Hatsune Miku, au départ l'emblème d'un logiciel de synthèse vocale.

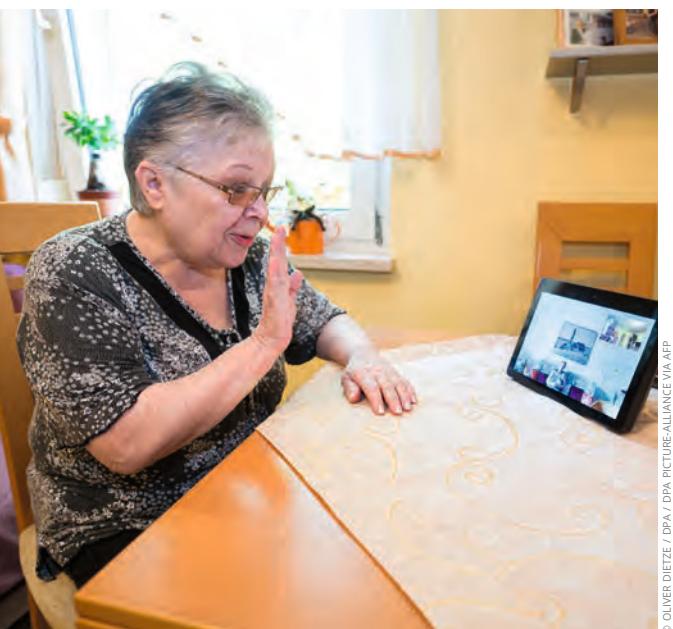
© TARO KARIBE / GETTY IMAGES ASIAPAC / GETTY IMAGES VIA AFP

ou de formules laissant penser que la machine aurait une vie propre, une « conscience » (même si le concept n'est pas défini strictement, y compris pour un humain) ouvre le champ à des débats juridiques parfois absurdes sur « le droit de l'IA ne pas répondre » ou sur sa souffrance supposée. Mais, lorsque l'IA effectue une tâche équivalente pour savoir comment se déploie une protéine, personne ne s'émeut de sa souffrance au travail ou de son ennui supposé ! C'est un phénomène très humain d'empathie en miroir qui crée l'illusion d'une « personne ».

### Qu'en est-il des biais dans les intelligences artificielles, notamment en ce qui concerne la diversité sociale et culturelle ?

**C. P.** Les biais sont une réalité incontournable. Beaucoup de systèmes d'IA ont été entraînés sur des jeux de données initialement homogènes (souvent composés d'interactions entre personnes adultes du monde occidental), ce qui pénalise la reconnaissance et la réponse adaptées aux groupes minoritaires, d'âge et de culture différents. Des efforts sont faits pour diversifier ces bases, mais modéliser la complexité culturelle, linguistique et sociale est un défi

► En Allemagne, en 2021, une femme appelle une amie via l'assistant vocal reçu dans le cadre d'un projet visant à réduire la solitude des personnes âgées.



© OLIVER DIERTE / DPA / DPA PICTURE ALLIANCE / AFP

## « L'IA n'a pas de sentiments ou d'intentions. Elle opère des calculs probabilistes basés sur d'immenses bases de données. »

persistant. Ces limitations peuvent entraîner des erreurs d'interprétation gênantes, voire des discriminations si les systèmes sont déployés sans supervision attentive par un humain.

**Dans quelle mesure l'IA peut-elle devenir un agent manipulateur, par exemple dans la vie quotidienne ou commerciale ?**

**C. P.** Cette question est cruciale. Les assistants vocaux ou systèmes de recommandation utilisent déjà des données comportementales et émotionnelles pour anticiper les besoins, vendre des produits ou influencer des décisions, parfois à l'insu de l'utilisateur.

Cette intrusion permanente peut transformer l'IA en prescriptrice d'habitudes ou en vectrice de manipulation. C'est pourquoi il est essentiel d'imposer des cadres réglementaires stricts et d'assurer une transparence totale pour que les utilisateurs gardent la maîtrise de leur décision et ne soient pas instrumentalisés. Certaines applications vocales du type Alexa [assistant vocal d'Amazon, Ndlr] prennent maintenant la parole de manière intrusive de leur propre initiative en proposant des produits.

**Que recommandez-vous pour accompagner cette évolution, afin d'éviter les dérives ?**

**C. P.** La priorité est de renforcer la recherche éthique et le contrôle des applications avant leur usage généralisé. Il faut mesurer scientifiquement les impacts psychologiques et sociaux, notamment pour les populations vulnérables, comme les enfants ou les personnes isolées. La protection de la vie privée, la maîtrise des données personnelles et l'éducation aux technologies sont des leviers essentiels.

Enfin, il est crucial d'instaurer un dialogue continu entre scientifiques, industriels, législateurs et citoyens, pour définir collectivement les limites acceptables et préserver la richesse et la complexité des relations humaines dans un monde de plus en plus assisté par des intelligences artificielles.

**Comment la culture et le cinéma, à travers des films comme *Dalloway*, participent-ils à cette réflexion ?**

**C. P.** Le cinéma joue un double rôle. Il alimente les fantasmes et les craintes autour de l'intelligence artificielle, mais il agit aussi comme un laboratoire d'idées, un espace d'exploration des conséquences possibles d'une coexistence humain-machine.

*Dalloway*, à l'instar de *Her*<sup>2</sup> ou d'autres œuvres, questionne nos sentiments, nos limites, nos désirs face aux entités artificielles. Ces récits aident à sensibiliser le public et à stimuler la réflexion critique sur ce que nous acceptons ou refusons dans cette révolution technologique.

Au-delà du divertissement, ce film souligne la complexité des relations émergentes avec les IA personnelles. Il interroge notre fascination et appelle à une vigilance, qui pourrait se baser sur les outils technologiques tout en conservant le recul éthique nécessaire pour un avenir plus centré sur l'humain. //

### À voir

*Dalloway*, de Yann Gozlan ; sortie en VOD le 17 janvier.

<sup>2</sup>. Film de Spike Jonze (Oscar 2014 du meilleur scénario) dans lequel un homme, écrivain public travaillant sur Internet, développe une relation intime avec une IA.

# À lire



## La planète auscultée

À grand renfort de dessins et de schémas, ce nouvel opus de la collection « Tout comprendre (ou presque) » tire le portrait de notre exceptionnelle planète Terre. De façon très didactique, les deux autrices répondent à 19 questions que la plupart d'entre nous se sont déjà posées : d'où vient notre atmosphère ? Quel est l'âge de la Terre ? Peut-on anticiper l'éruption d'un volcan ? Ou encore, comment la circulation océanique régule-t-elle le climat ? Un livre destiné aux plus jeunes et indispensable aux plus curieux et curieuses d'entre nous.

*Tout comprendre (ou presque) sur notre planète.*

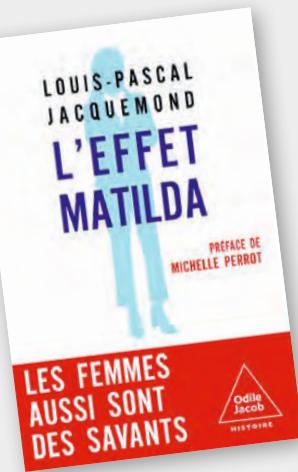
A. Brès et C. Marc,  
CNRS Éditions, 140 p.,  
19 €, novembre 2025

## Des savantes invisibilisées

Dire que les femmes aussi peuvent être savantes va aujourd'hui de soi. Pourtant, dès qu'il s'agit de citer des noms de scientifiques, ce sont des noms d'hommes qui reviennent le plus souvent. Cette ignorance – doublée d'une anonymisation – a été nommée « effet Matilda », en référence à Matilda Joslyn Gage, féministe et abolitionniste du xix<sup>e</sup> siècle. Dans son ouvrage, Louis-Pascal Jacquemond rend hommage à toutes ces oubliées qui ont, depuis toujours, contribué pleinement aux découvertes scientifiques majeures. *L'Effet Matilda* est un livre incontournable pour qui souhaite comprendre l'histoire moderne des sciences.

*L'Effet Matilda*

Louis-Pascal Jacquemond (préface de Michelle Perrot),  
Odile Jacob, 464 p., 21,99 €, novembre 2025



LES FEMMES  
AUSSI SONT  
DES SAVANTS

Odile Jacob  
HISTOIRE

## Avatar revisité

Révolutionnaire d'un point de vue technologique, la saga *Avatar*, réalisée par James Cameron, a également marqué son époque en abordant de grandes interrogations contemporaines comme la protection de l'environnement, les guerres ou la diversité culturelle. Dans son livre, l'anthropologue Perig Pitrou revient sur les réflexions que ces films suscitent, notamment concernant notre place dans l'Univers et notre rapport au vivant, afin de montrer ce que la comparaison avec les peuples rencontrés dans *Avatar* révèle de notre humanité et de notre manière d'habiter notre planète.

*Comment habiter notre planète – Une lecture d'Avatar*

Perig Pitrou, Puf, 192 p.,  
15 €, novembre 2025

## La marche, toute une science

Voilà plusieurs millions d'années que nous marchons. Pourtant, ce n'est qu'à partir du xix<sup>e</sup> siècle que les scientifiques ont commencé à s'intéresser au mécanisme de la marche et à le décortiquer. Dans son livre, l'historien des sciences Andreas Mayer narre les recherches ayant mené à une meilleure compréhension de la marche. Articulé en quatre parties, l'ouvrage rassemble un grand nombre de gravures et de schémas.

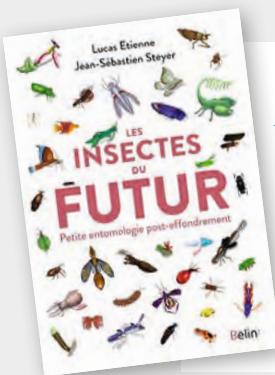
*La Marche – Histoire d'une fascination savante*  
Andreas Mayer, Les Belles Lettres, 264 p., 26,90 €, septembre 2025



**Entomologie du futur** France, 2499 : la Troisième Guerre mondiale éclate, la civilisation humaine s'effondre et... les invertébrés prolifèrent. Ce court livre, mêlant illustrations originales et récit de science-fiction, imagine à quoi pourraient ressembler les insectes et arthropodes de demain. Une ode à la résilience et aux métamorphoses de cette biodiversité discrète.

*Les Insectes du futur*

L. Étienne et J.-S. Steyer, Belin, 159 p., 23 €, septembre 2025





de Denis Guthleben,  
directeur du Musée Curie

# Un parlement pour la recherche

**“**Lorsqu'on est chargé tout à la fois de contribuer à l'élaboration de la politique scientifique du CNRS, de procéder à l'analyse de la conjoncture et de ses perspectives, de participer au recrutement et au suivi de la carrière des chercheuses et des chercheurs comme de l'activité des laboratoires, sans doute n'a-t-on guère le loisir ni de compter ses années ni de fêter ses anniversaires. Mais voilà bien 80 ans que le Comité national de la recherche scientifique remplit ces missions : il a été créé le 2 novembre 1945 par une ordonnance du Gouvernement provisoire de la République française réorganisant le CNRS.

## Représenter la science et les scientifiques

L'ambition d'associer collectivement les scientifiques aux enjeux et orientations de la recherche est antérieure à la Libération. Avec les recommandations différentes qu'elles pouvaient adresser aux monarques, les académies de sciences ont partiellement rempli ce rôle à travers l'Europe à partir du XVII<sup>e</sup> siècle. La volonté d'établir des instances plus représentatives de la communauté savante et ne relevant

la création du CNRS en 1939. Cette première expérience a toutefois subi un arrêt brutal l'année suivante. Désigné à la tête de l'établissement par un régime de Vichy auquel il a proposé ses services avec empressement, le géologue Charles Jacob s'est acharné à en extirper ce qu'il assimilait à un « *virus démocratique* ». Foin du conseil et des élections, il n'a gardé auprès de lui qu'une poignée de commissions consultatives modelées selon son bon plaisir et applaudissant à toutes ses décisions...

## La recherche en République

En arrivant les armes à la main à la direction du CNRS, en août 1944, en pleine insurrection parisienne, Frédéric Joliot entend refermer cette parenthèse autoritaire et renouer avec l'esprit originel de l'organisme. Il dévoile son but dès le mois de septembre aux quelques collègues qu'il est parvenu à réunir dans l'odeur de la poudre : fonder un « *comité directeur* » qui « *représenterait véritablement la Recherche Scientifique française* » et serait chargé de son organisation, « *de l'élaboration des programmes de recherche, du choix des travaux à entreprendre et du contrôle de leur exécution* ». En découvrant ce projet, Henri Moureu, son collaborateur, ami et compagnon de Résistance, ne peut réprimer une exclamation : « *Vous pensez en somme nous mettre en République !* »

Ce dessein est précisé et débattu au fil des mois. L'intitulé de « comité national de la recherche scientifique » (CoNRS) est retenu en 1945, sous la forme d'un parlement de 29 sections et 400 membres. Ces derniers, élus pour deux tiers, nommés par le ministre de l'Éducation nationale pour le tiers restant, reçoivent « *pour mission essentielle de définir en session plénière la ligne générale des recherches et les méthodes de travail* », d'après le rapport d'activité du CNRS de 1945, qui précise qu'à « *chaque section incombera la tâche d'orienter et de développer les recherches relevant de ses compétences* ». L'ordonnance du 2 novembre 1945 stipule encore qu'une quinzaine de ses membres devront constituer un « *directoire du CNRS* », assurant avec le directeur de l'organisme « *l'application des décisions du comité national ou de ses sections* ».

Rien d'étonnant qu'un tel dispositif ait vu le jour à la Libération. Après l'effondrement du régime de Vichy, la communauté scientifique a exprimé la même soif de démocratie que l'ensemble de la société. 80 ans plus tard, il n'est sans doute pas vain de rappeler que le CoNRS a été conçu comme le symbole de cette aspiration. **II**

**« Après l'effondrement du régime de Vichy, la communauté scientifique a exprimé la même soif de démocratie que l'ensemble de la société. »**

pas du seul fait du prince est plus récente. En France, un « conseil supérieur de la recherche scientifique » a ainsi vu le jour en 1933. Jean Perrin – toujours lui ! – a obtenu sa création à la faveur d'une pétition remise au gouvernement et signée, entre autres, par huit prix Nobel, dont Marie Curie, Louis de Broglie et... lui-même.

Les membres de ce conseil, pour moitié nommés par le ministre et pour moitié élus par leurs pairs, devaient non seulement étudier « *toutes les questions d'ordre général ayant trait à la recherche* », mais aussi « *défendre les intérêts* » de celle-ci. Ils n'ont pas manqué de le faire en soutenant



FONDATION

CNRS

**Donnons à la recherche  
les moyens de ses ambitions.**

© ERVAN AMICE / LEMAR / CNRS IMAGES

**SOUTENEZ-NOUS**

Site web : [fondation-cnrs.org](http://fondation-cnrs.org)

Par courrier à la Fondation CNRS : 3, rue Michel-Ange - 75016 Paris

**CONTACTS**

Téléphone : 01 44 96 44 49

E-mail : [contact@fondation-cnrs.org](mailto:contact@fondation-cnrs.org)

# CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS

#19 actuellement  
en vente  
en librairie et Relay  
200 pages / 14 €



Entrez dans  
les coulisses  
de la recherche



CNRS ÉDITIONS

[www.carnetsdescience-larevue.fr](http://www.carnetsdescience-larevue.fr)