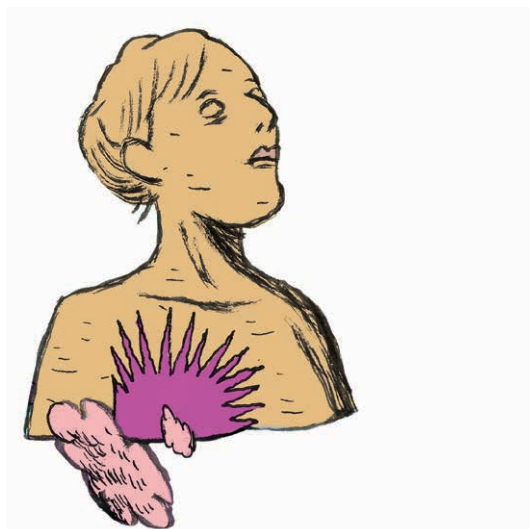


n° 31

Automne 2026

L'Édition



université
PARIS-SACLAY

4

Formation

S'acculturer à l'intelligence artificielle avec BrevetAI

7

Médiation des sciences

Les rendez-vous
« Science à la coque »

10

Recherche

De nouvelles voies
contre le cancer du sein

13

Recherche

Voyage aux frontières
du quantique

16

Business & innovation

Agir face aux risques climatiques

18

Recherche

Comprendre les mécanismes
du goût

21

Recherche

La recherche en lutte
contre les PFAS

26

Ici ou ailleurs

Une plateforme pour
tous les stages

28

Vie de campus

La réouverture
du bâtiment Breguet

Prix et distinctions

à l'Université Paris-Saclay

L'Université Paris-Saclay se maintient, pour la sixième année consécutive, dans le top 20 des meilleures universités au monde dans le classement de Shanghai. Dans l'édition 2026, elle se place à la 13^e position mondiale et à la 1^{re} position en Europe continentale, confirmant d'année en année sa position d'université de recherche intensive de rang mondial.

Chercheurs et chercheuses



© DR

Henri Kagan, professeur émérite de la Faculté des sciences d'Orsay de l'Université Paris-Saclay, a été récompensé du **prix Nobel de chimie 2026**, conjointement avec le Japonais Kenso Soai, pour la découverte des effets non linéaires en synthèse asymétrique et ses travaux sur l'autocatalyse en chimie organique. Menés au sein de l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (Icmmo - Univ. Paris-Saclay/CNRS), ces travaux ont joué un rôle déterminant dans la mise au point de la catalyse asymétrique, une méthode de synthèse efficace et sélective qui aide aujourd'hui à produire des molécules primordiales pour le développement de médicaments notamment.



© Cyril Fréssillon / CNRS Images

Jacqueline Bloch, directrice de recherche au Centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N - Univ. Paris-Saclay/CNRS/Univ. Paris Cité) et professeure à l'École polytechnique, s'est vu décerner la **médaille d'or 2026 du CNRS** pour ses travaux pionniers consacrés aux polaritons, des particules hybrides résultant du couplage entre lumière et matière.

Trois scientifiques de la communauté de l'Université Paris-Saclay se sont vu décerner la **médaille d'argent 2026 du CNRS** :

Patricia Bouyer-Decitre, directrice de recherche au Laboratoire méthodes formelles (LMF - Univ. Paris-Saclay/ENS Paris-Saclay/CentraleSupélec/Inria/CNRS) ;

Sophie Henrot-Versillé, directrice de recherche au Laboratoire de physique des 2 infinis - Irène Joliot-Curie (IJCLab - Univ. Paris-Saclay/CNRS/Univ. Paris Cité) ;

Delphine Marris-Morini, professeure au Centre de nanosciences et nanotechnologies (C2N - Univ. Paris-Saclay/CNRS/Univ. Paris Cité).

Catherine Brenner, directrice de recherche au sein du laboratoire Aspects métaboliques et systémiques de l'oncogenèse pour de nouvelles approches thérapeutiques (Metsy - Univ. Paris-Saclay/Gustave Roussy/CNRS) et directrice scientifique d'une plateforme d'évaluation du métabolisme cellulaire, a été récompensée du **Lifetime Achievement Award 2026** décerné par l'International Cell Death Society (ICDS) pour l'ensemble de sa carrière.

André Torre, professeur d'économie à l'Université Paris-Saclay et directeur de recherche au laboratoire Sciences pour l'action et le développement : activités, produits, territoires (Sadapt - Univ. Paris-Saclay/INRAE/AgroParisTech), a été distingué par le **prix européen ERSA (European regional science association) en sciences régionales** pour l'ensemble de ses recherches sur les relations de proximité et les processus de développement territorial.



© Christophe Peus

Hong Wang, mathématicienne et professeure permanente à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES) rattachée au Laboratoire Alexander Grothendieck (LAG - Univ. Paris-Saclay/IHES/CNRS), s'est vu décerner la **médaille Fields**, distinction considérée comme la plus prestigieuse au monde en mathématiques, pour ses travaux remarquables dont la résolution, avec son coauteur Joshua Zahl, de la conjecture de Kakeya en dimension trois, un problème ouvert depuis plus d'un siècle.

Étudiantes et étudiants

Quatre doctorantes et doctorants ont été récompensés lors de la finale du concours régional **Starthèse Start'up Pitch-ID**, impulsé par la Maison du doctorat de l'Université Paris-Saclay dans le cadre du parcours entrepreneuriat deeptech du Pôle universitaire d'innovation (PUI) Innovation Alliance Université Paris-Saclay :

Romain El Andaloussi, doctorant au sein de l'unité de recherche et de développement Agro-biotechnologies industrielles (URD ABI - Univ. Paris-Saclay/AgroParisTech), est lauréat du **prix de l'Impact** pour son projet Bloom Ingredients qui s'appuie sur la fermentation de précision pour proposer une alternative saine aux additifs texturants ;

Tristan Bilot, docteur issu du Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (Lisn - Univ. Paris-Saclay/CentraleSupélec/Inria/CNRS), est lauréat du **prix de l'Impact** pour Doberman, son projet de cybersécurité exploitant un modèle de fondation inédit pour défendre les infrastructures critiques ;

Aldric Labarthe, doctorant qui mène une thèse co-dirigée par le Centre Borelli (Univ. Paris-Saclay/ENS Paris-Saclay/CNRS/Univ. Paris Cité/Service de santé des armées) et l'Université de Genève, est lauréat du **prix de l'Audace** pour son projet Glync, dont l'objectif est de modéliser les relations métaboliques entre les organes à partir d'un PET-scan pour détecter les pathologies de manière globale ;

Lisa Lallemand, doctorante au sein du Laboratoire Charles Fabry (LCF - Univ. Paris-Saclay/Institut d'Optique Graduate School/CNRS), est récompensée par le **prix de la Créativité** pour son projet AleD-X qui repose sur un nouveau système de pompage laser conçu pour générer de l'énergie par fusion nucléaire en continu.

Entreprises et projets

Cinq start-up fondées par des alumni ou personnalités de la communauté de l'Université Paris-Saclay sont lauréates du **concours d'innovation i-Lab 2026** organisé par le gouvernement à travers France 2030 :

DETERA Therapeutics, cofondée par Daniel Gillet, directeur de recherche et responsable du Laboratoire de biologie chimique du département Médicaments et technologies pour la santé (MTS - Univ. Paris-Saclay/INRAE/CEA), est récompensée pour son projet RENACARE. La start-up développe une thérapie rénale destinée à cibler le mécanisme causal d'une maladie rénale rare appelée glomérulonéphrite à croissants (GNC) et capable d'entraîner une perte irréversible de la fonction rénale ;

Karavela, cofondée par Alexis Thual, alumnus du master Mathématiques, vision, apprentissage (MVA) de l'ENS Paris-Saclay, utilise la résonance magnétique pour étudier le cerveau humain et construire un jeu de données de très grande taille, donnant la possibilité d'entraîner des algorithmes à modéliser la dynamique du cerveau ;

Pharm From Forest, fondée par Jonathan Sorres, docteur de l'Université Paris-Saclay en chimie, est récompensée pour son projet INHASA qui vise à développer un nouvel antibiotique contre les infections sévères à staphylocoque doré résistant à la métilcilline (SARM), à partir de molécules issues de la biodiversité végétale de La Réunion ;

Seegenio, cofondée par Romain Devrue, alumnus de l'Université Paris-Saclay et d'AgroParisTech, est récompensée pour son projet OPTIGEN. Celui-ci vise à renforcer la précision et l'applicabilité de sa technologie d'ovosexage destinée à déterminer le sexe des œufs dès le quatrième jour d'incubation, afin d'éviter la destruction des oisillons non valorisés dans la filière volaillière ;

Zeonyx, fondée par Benoît Boureau, alumnus de l'Université Paris-Saclay en pharmacie, est récompensée pour son projet Nanozeoxy. Celui-ci vise à développer une technologie à base de nanozéolithes et capable d'acheminer de l'oxygène et du gadolinium jusqu'à des tumeurs hypoxiques, afin de les rendre plus sensibles à la radiothérapie.

Chaque année,
la rentrée apporte
avec elle son lot
d'idées, de projets et
de transformations
qui font vivre
notre université et
contribuent à son
évolution.



© Corinne Hameau

L'éditorial

La rentrée universitaire est bien plus qu'un retour aux activités d'enseignement et de recherche. Chaque année, elle apporte avec elle son lot d'idées, de projets et de transformations qui font vivre notre université et contribuent à son évolution. Cette rentrée ne fait pas exception. Elle marque même l'aboutissement de projets démarrés depuis plusieurs années, à commencer par la réouverture du bâtiment Breguet de CentraleSupélec, sur le campus du plateau de Moulon à Gif-sur-Yvette. Après trois ans de travaux, l'ensemble architectural abrite désormais le siège de l'Université Paris-Saclay, de même que de nouveaux espaces d'enseignement, de recherche et d'innovation.

Comme vous le lirez dans ce nouveau numéro de notre journal *L'Édition*, cette réouverture marque également le lancement de la Maison de la santé de l'Université Paris-Saclay. Pilotée par le Service de santé étudiante (SSE), elle donne la possibilité d'étendre l'offre de services en matière de santé, de prévention et de bien-être proposée à nos étudiantes et étudiants. À travers la création de ce nouvel espace, notre université réaffirme sa volonté de toujours mieux accompagner sa communauté étudiante et de continuer à améliorer les conditions d'études et de vie, conformément à ses priorités stratégiques.

Côté formation aussi, cette rentrée universitaire inaugure un nouveau chapitre avec le déploiement de BrevetAI, le dispositif pédagogique piloté par l'Institut DatalA, l'institut de recherche et de formation en intelligence artificielle de l'Université Paris-Saclay. Basé sur une pédagogie active et ludique, cet outil de formation vise à acculturer chacun et chacune à l'intelligence artificielle et ses notions. Après avoir été déployé en 2025 auprès des étudiantes, étudiants et personnels de l'université, BrevetAI est maintenant accessible à tous les établissements d'enseignement supérieur français, aux entreprises et au grand public.

Tous les ans, le mois d'octobre est ponctué par une mobilisation mondiale contre le cancer du sein dont on recense plus de 60 000 nouveaux cas chaque année en France. Dans ces pages, *L'Édition* vous propose de partir à la rencontre d'équipes de recherche de la communauté de l'Université Paris-Saclay qui explorent de nouvelles pistes pour mieux traiter ce cancer et ses formes les plus invasives. Ce nouveau numéro met également en lumière un autre problème de santé publique : l'omniprésence des substances per- et polyfluoroalkylées, plus connues sous les noms de PFAS ou de « polluants éternels ». Alors que des scientifiques s'attachent à étudier l'accumulation de ces composés toxiques dans l'environnement, d'autres tentent de mieux comprendre leur comportement et leurs effets sur la santé humaine.

En clin d'œil à l'édition 2026 de la Fête de la science qui a mis à l'honneur la thématique des « Saveurs savantes », vous découvrirez aussi dans ces pages un focus sur le goût, qui est une expérience multisensorielle bien plus complexe qu'on ne pense. Enfin, un sujet vous emmène pour un voyage aux frontières du quantique, en revenant sur les travaux du physicien Michel Devoret – docteur de l'Université Paris-Saclay (anciennement Université Paris-Sud) – récompensé aux côtés de ses collègues John Clarke et John Martinis par le prix Nobel de physique en 2025.

En vous souhaitant une bonne lecture de *L'Édition*, je vous donne rendez-vous en février 2027 pour un nouveau numéro du journal !

Camille Galap,
Président de l'Université Paris-Saclay.

BrevetAI

De la pédagogie ludique pour acculturer tout le monde à l'intelligence artificielle

Piloté par l'Institut DataIA de l'Université Paris-Saclay, le BrevetAI est un dispositif pédagogique innovant visant à acculturer les personnes aux notions clés de l'intelligence artificielle et à ses enjeux sociétaux. Proposé en deux formules, « découverte » ou « avancée », il est désormais accessible en ligne à tous les publics.

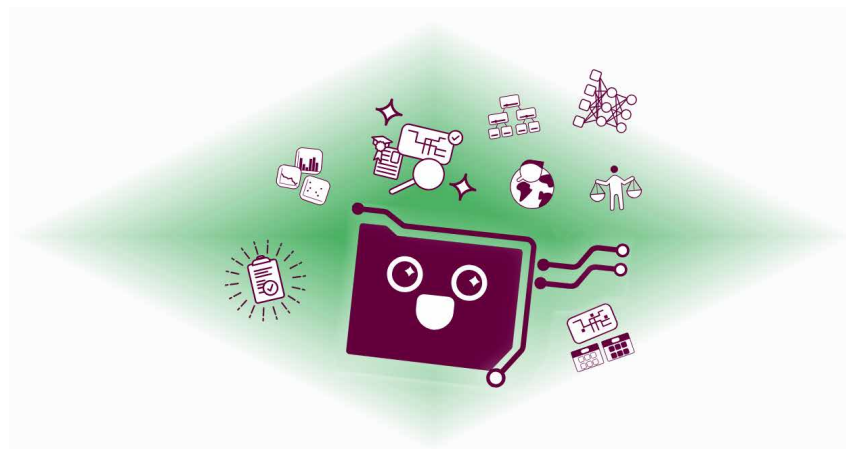
Qu'est-ce qu'un modèle ? Comment réalise-t-on l'apprentissage d'une intelligence artificielle (IA) ? Quel cadre légal existe-t-il pour le développement et le déploiement de cette technologie ? À l'heure où la présence de l'IA ne cesse de croître dans notre quotidien, certaines questions deviennent essentielles pour appréhender l'usage de cette technologie et comprendre ses enjeux. C'est ainsi qu'est né le BrevetAI, un dispositif pédagogique innovant piloté par l'Institut DataIA – l'institut de recherche et de formation en intelligence artificielle de l'Université Paris-Saclay -, et développé par l'ENS Paris-Saclay.

Le BrevetAI s'inscrit dans le cadre du projet SaclAI-School, lauréat de l'appel à manifestation d'intérêt Compétences et métiers d'avenir (CMA) lancé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) à l'automne 2022, et qui a pour but de développer un programme de formation large, ambitieux et innovant autour de l'IA. En quelques années, ce projet a déjà donné lieu à de multiples actions pour massifier les formations en IA et en science des données auprès de la communauté étudiante (voir l'article paru dans *L'Édition* n°24). Mais l'un des objectifs de SaclAI-School est aussi de développer de nouveaux outils pédagogiques, accessibles à des publics variés. C'est ici qu'intervient le BrevetAI.

Acculturer à l'IA sans prérequis

Le BrevetAI est un projet qui vise à acculturer tous les publics à l'IA, ses notions clés et les enjeux sociétaux qui y sont liés. « *Le but a été de créer un dispositif pédagogique qui soit capable d'atteindre un public n'ayant pas d'appétence pour l'IA, ni de prérequis* », explique Laurent Oudre, professeur à l'ENS Paris-Saclay qui a piloté le projet. Pour cela, une stratégie a été adoptée : rendre l'apprentissage « *le plus ludique possible* », en employant une pédagogie dite « *par le faire* » (en anglais, *learning-by-doing*).

« *Contrairement à un cours classique où l'on a une vision très verticale, avec des vidéos et du texte, on se base ici principalement sur des activités interactives qui font jouer avec des algorithmes et des données, et donc interagir avec les notions d'une façon un peu différente* », décrypte Laurent Oudre. Démarrée en 2022, la conception du dispositif s'est appuyée sur une équipe interdisciplinaire incluant des spécialistes en informatique et en IA, mais aussi des développeurs et des ingénieurs pédagogiques issus de la Direction de l'innovation pédagogique (DIP) de l'Université Paris-Saclay (voir l'article paru dans *L'Édition* n°30).



« *Nous avons réalisé un travail de scénarisation sur les activités pour obtenir un déroulé interactif qui engage vraiment l'apprenant ou apprenante, et lui donne la possibilité de s'approprier les concepts, tout en allant à son rythme* », confirme Charline Potier, ingénieure pédagogique de la DIP et membre de l'équipe de BrevetAI. Dans le premier cours, c'est ainsi à travers un simple trajet à vélo à réaliser que l'apprenant ou apprenante découvre les notions d'algorithme et d'instructions. Les concepts de modèle et de paramètres, eux, sont mis en scène à travers un lancer de ballon de basket, tandis qu'un champ de tulipes est utilisé pour expliquer l'apprentissage d'une IA.

« *Chaque activité est guidée par un petit agent pédagogique – prenant la forme d'une puce informatique – qui donne les consignes et les explications pour faire le lien avec les notions exposées dans les fiches* », poursuit Charline Potier. À l'issue de chaque cours, une évaluation est proposée sur le même principe, à travers une activité interactive, un quiz ou une mise en situation.

Un parcours disponible en deux formules

BrevetAI est composé de quatre cours : le fonctionnement de l'IA, les tâches de l'IA, l'IA en pratique, et enfin les enjeux sociétaux de l'IA. Il est cependant possible de le réaliser selon deux formules : la formule « *découverte* » qui inclut les deux cours principaux (pour dix heures d'apprentissage en moyenne), ou la formule « *avancée* » comprenant l'intégralité des cours (pour vingt heures en moyenne).

« *La formule découverte expose les grands concepts de l'IA et aborde les notions importantes pour appréhender tout ce qu'on lit dans les actualités autour de l'IA. Elle présente aussi des choses très importantes sur les enjeux de l'IA en matière d'environnement, d'éthique, de réglementation et d'impact*

sociétal », résume Laurent Oudre. « *La formule avancée est destinée à celles et ceux qui veulent aller un peu plus loin.* »

Quelle que soit la formule adoptée, une fois les évaluations complétées, le parcours peut donner lieu à l'obtention de crédits ECTS pour les étudiantes et étudiants des formations ayant intégré le BrevetAI dans leur maquette. Il est également possible d'obtenir une micro-certification, accessible à tous et toutes.

Désormais accessible sur FUN MOOC

Lancé en 2025 sur la plateforme eCampus, le BrevetAI possède désormais son propre site Internet disponible en français et en anglais. Initialement déployé sur le périmètre de l'Université Paris-Saclay, le dispositif pédagogique passe un nouveau cap en septembre 2026.

Grâce à un partenariat avec France Université Numérique, le BrevetAI est maintenant accessible gratuitement à toute personne souhaitant se former en autonomie, via la plateforme FUN MOOC. Depuis la rentrée universitaire 2026/2027, les établissements d'enseignement supérieur publics et privés ainsi que les entreprises ont également la possibilité de déployer le dispositif dans leur environnement, via un accès ou abonnement annuel.

Parallèlement, un cinquième cours est en cours d'élaboration sur le thème de l'IA générative, son fonctionnement, ses limites, son impact sociétal, etc. Il sera intégré au BrevetAI courant 2027. **E.F.**

www.brevetai.fr

DU PCSO

Une passerelle pour donner une seconde chance aux ambitions scientifiques

Le diplôme universitaire Préparation aux cursus scientifiques d'Orsay (DU PCSO) est une formation qui propose à des bacheliers et bacheliers, et des étudiantes et étudiants en réorientation, une mise à niveau en sciences afin de donner la possibilité de poursuivre vers des études supérieures scientifiques ou techniques.

L'orientation scolaire constitue une étape importante dans le parcours des lycéennes et lycéens, mais elle intervient à un âge où il n'est pas toujours facile de définir précisément ses aspirations et son projet professionnel. Il arrive alors que des élèves se découvrent une affinité pour les sciences ou une carrière scientifique, sans avoir suivi un parcours donnant la possibilité d'envisager sereinement cette voie. À l'Université Paris-Saclay, il existe une solution pour faire face à cette situation : le diplôme universitaire Préparation aux cursus scientifiques d'Orsay (DU PCSO). Cette formation, d'une durée d'un an, propose une mise à niveau en sciences, donnant la possibilité de poursuivre vers des études supérieures scientifiques ou techniques.

« Le DU PCSO est destiné à tout bachelier ou bachelière non scientifique, c'est-à-dire des élèves ayant passé un baccalauréat général, avec aucune ou une seule spécialité scientifique, aux titulaires de baccalauréats technologiques ou professionnels, ainsi qu'aux étudiantes et étudiants souhaitant réorienter leur parcours vers le domaine scientifique », précise Karine Bocchialini, enseignante-chercheuse et coresponsable de la formation depuis 2020, avec Christophe Lefebvre. Le diplôme est également accessible, via la formation continue, à des personnes souhaitant reprendre leurs études dans le domaine scientifique.

Chaque promotion rassemble entre 120 et 135 personnes dont la sélection se fait sur dossier, après dépôt des candidatures via la plateforme Parcoursup ou via le service chargé de la formation continue. « Pour cette année 2026-2027, nous avons eu plus de 600 dossiers en première instance », se souvient la coresponsable. Si le parcours

académique des candidates et candidats est un critère crucial dans la sélection des dossiers, la motivation en est un autre. Car le DU PCSO est une formation exigeante.

Une formation au rythme soutenu

Chaque semaine comprend vingt-cinq heures d'enseignement, auxquelles s'ajoutent autant d'heures de travail personnel. « Le rythme est très soutenu », confirme Karine Bocchialini. « En une seule année, les étudiantes et étudiants doivent intégrer le programme des classes de première et de terminale dans trois matières scientifiques : les mathématiques, la physique et la chimie. » Ces trois matières composent le tronc commun de la formation, qui est complété par des enseignements supplémentaires en option, à choisir entre biologie ou maths-physique.

« Dans notre programme, nous allons même au-delà du niveau de terminale pour que celles et ceux qui vont poursuivre en études scientifiques soient un peu en avance au début », poursuit l'enseignante-chercheuse. D'où l'importance d'avoir un projet d'études bien défini en postulant au DU PCSO. « Si les étudiantes et étudiants n'ont pas de réelle motivation et de projet pour la suite, il leur est très difficile de tenir le rythme de la formation et de réussir. »

Tout au long de l'année, chaque promotion bénéficie d'un accompagnement par l'équipe enseignante et Valérie Hortaut, secrétaire pédagogique de la formation. Des conseils de classe sont également mis en place pour suivre l'évolution de chacun et chacune, et s'assurer que les résultats sont en adéquation avec le projet envisagé. Celles et ceux qui le souhaitent peuvent être dirigés vers la Direction

de la formation et de la réussite (DFR) de l'Université Paris-Saclay et son pôle consacré aux questions d'orientation et d'insertion professionnelle (OIP), afin de repenser leur projet.

« Nous les accompagnons autant que possible », appuie Karine Bocchialini, qui souligne aussi l'importance de « l'esprit de promotion » dans l'engagement et la réussite des étudiantes et étudiants.

« Il y a une véritable solidarité qui se crée »

Le DU PCSO constitue en effet des groupes d'une grande mixité sociale de par la diversité des profils sélectionnés. Des néo-bacheliers et néo-bacheliers y sont mêlés avec des jeunes ayant déjà réalisé quelques années d'études et d'autres personnes plus âgées ayant déjà une expérience professionnelle, voire une famille à charge. « Il y a une véritable solidarité qui se crée facilement au sein des promotions, où chacun et chacune a quelque chose à apporter à l'autre. » Régulièrement, d'anciennes étudiantes et étudiants du DU viennent d'ailleurs partager leur expérience et leur parcours auprès des nouvelles promotions.

« La PCSO a véritablement été une passerelle pour moi. Elle m'a donné les bases et la confiance nécessaires pour envisager un parcours qui, quelques années auparavant, m'aurait semblé inaccessible », explique Maïa, ancienne étudiante titulaire d'un baccalauréat Sciences et technologies de la gestion (STG) qui a repris ses études à 36 ans, et poursuit aujourd'hui son parcours en études d'odontologie. « La PCSO m'a donné les bases scientifiques et bien au-delà pour poursuivre par la suite mon projet professionnel d'ingénieur agroalimentaire », assure de son côté Léa, étudiante de la promotion 2020-2021 qui a intégré AgroParisTech.

Du fait de l'exigence de la formation, le taux de réussite des étudiantes et étudiants avoisine 50 %. Toutefois, 70 à 80 % d'entre elles et eux parviennent à poursuivre leur parcours dans des études scientifiques. Certaines et certains se dirigent vers des études médicales, comme Maïa, d'autres vers une classe préparatoire pour entrer en école d'ingénieurs, comme Léa, vers une licence scientifique ou encore vers un bachelor universitaire de technologie (BUT). « C'est un diplôme qui ouvre de nombreuses portes, à condition de rester motivé jusqu'à la fin », conclut Karine Bocchialini. E.F.

www.universite-paris-saclay.fr/formation/diplome-universitaire/du-pcso-preparation-aux-cursus-scientifiques-dorsay



Formation professionnelle

L'Université Paris-Saclay enregistre trois titres à finalité professionnelle pour former aux métiers émergents

L'Université Paris-Saclay a obtenu l'enregistrement de trois nouveaux titres au Répertoire national des certifications professionnelles (RNCP). Basés sur le guide des métiers émergents de France compétences, ces titres concernent des domaines stratégiques comme la blockchain, les énergies décarbonées et les batteries de véhicules électriques, confirmant la capacité de l'université à proposer des formations en phase avec les transitions en cours.



Face aux évolutions technologiques, environnementales et sociétales en cours, de nouveaux métiers émergent, tandis que d'autres se transforment en profondeur. Ces changements créent de nouvelles opportunités professionnelles, mais nécessitent également le développement de compétences adaptées. Pour accompagner ces évolutions, l'offre de formation professionnelle joue un rôle essentiel, en donnant la possibilité d'acquérir des connaissances et savoir-faire recherchés sur le marché de l'emploi.

Dans ce contexte, c'est une nouvelle étape que l'Université Paris-Saclay a franchie dans la construction de son offre de formation continue. Celle-ci a en effet obtenu l'enregistrement de trois titres au Répertoire national des certifications professionnelles (RNCP) : « concepteur développeur de solutions blockchain », « contrôleur technique qualité des installations et équipements des énergies décarbonées » et « technicien des batteries de véhicules électriques et hybrides, option maintenance, démontage/recyclage ». Or, ces titres ont un point commun : ils sont tous issus de la liste des métiers émergents de France compétences, l'autorité nationale en charge de la formation professionnelle et de l'apprentissage.

Adapter l'offre de certifications à l'évolution du marché

Plusieurs fois par an, France compétences alimente une liste des métiers considérés comme en particulière évolution ou en émergence, en lien avec le plan France 2030. L'objectif est d'accélérer la mise en adéquation de l'offre de certifications avec les besoins en compétences et l'évolution du marché. Les organismes qui le souhaitent ont alors la possibilité de déposer des projets de certification correspondant à l'un des métiers, en vue

qu'elle soit enregistrée au RNCP. C'est précisément la démarche qu'a suivie l'université au cours de l'année écoulée.

« Ce sont les trois premiers titres RNCP enregistrés par l'Université Paris-Saclay en termes de certification professionnelle », souligne Miriam Saliba Said, porteuse du projet au sein de la Direction de la formation tout au long de la vie (DFTLV) de l'université. « Nous avons choisi ces trois métiers parce qu'ils n'existaient pas encore dans notre offre de formation globale et qu'ils font appel à des compétences techniques et des domaines stratégiques sur lesquels l'université travaille déjà. »

Pour le titre de contrôleur technique qualité, l'Université Paris-Saclay est en effet porteuse du Campus des métiers et des qualifications d'excellence (CMQE) Énergie durable (voir l'article Formation de L'Édition n°25), qui vise justement à répondre aux besoins en métiers et qualifications nécessaires aux filières des énergies bas-carbone. De même, pour le titre de technicien des batteries électriques, l'université est porteuse du projet Hydrogène et technologies avancées des systèmes énergétiques (HTASE), lauréat d'un Appel à manifestation d'intérêt Compétences et métiers d'avenir (AMI CMA), et destiné à favoriser la montée en compétences dans les filières de l'hydrogène et des batteries.

Une première promotion en novembre 2026

Le dépôt de chacun des projets de certification a nécessité plusieurs mois de travail pour l'équipe de la DFTLV, récompensée par l'enregistrement des trois titres en novembre 2025, février et avril 2026. Cette étape a toutefois signé le démarrage d'un nouveau chantier pour Miriam Saliba Said et ses collègues qui doivent

désormais concevoir les formations relatives à chacun des titres. La première à voir le jour est la certification au titre de concepteur développeur de solutions blockchain, qui accueille sa première promotion en novembre 2026.

« Cela représente environ trois cents heures d'enseignement, divisées en cinq blocs de compétences », éclaire l'ingénieure de formation. Une partie a déjà été créée à travers une formation plus courte, l'Executive certificate développeur blockchain, qui couvre deux des cinq blocs composant le titre pour un total de 94 heures. Le reste de la formation demeurerait donc à concevoir. La DFTLV a été épaulée par des professionnels du secteur ainsi que par des enseignants-chercheurs dont Sylvain Conchon, en charge de valider les contenus du point de vue technique et pédagogique.

Pour s'adapter au profil et aux besoins des apprenantes et apprenants, le titre est accessible en formation continue, en alternance professionnelle ou via une validation des acquis de l'expérience (VAE). En outre, il est possible d'opter pour l'intégralité du titre, ou alors de s'inscrire par blocs de compétences, ce qui ouvre la voie à un financement mobilisant le Compte personnel de formation (CPF).

Deux autres titres prévus pour 2027

Les deux autres titres, en cours de conception, verront le jour en 2027. À l'instar du premier, celui de technicien des batteries de véhicules électriques fait déjà l'objet d'un Executive certificate représentant deux blocs de compétences et 98 heures de formation, contre plus de 250 heures pour le futur titre. En revanche, il n'en existe pas encore pour le titre de contrôleur technique qualité des installations et équipements des énergies décarbonées, qui doit donc être intégralement conçu, avec l'appui notamment de l'enseignant-chercheur Sylvain Franger et de Bruno Daracq, directeur du CMQE Énergie durable.

« L'enregistrement de chaque titre nous donne une accréditation de trois ans. Nous avons donc trois ans pour faire nos preuves et montrer que l'on peut former des professionnelles et professionnels bien insérés dans leur secteur d'activité », conclut Miriam Saliba Said. **E.F.**

<https://www.universite-paris-saclay.fr/choisir-sa-formation-continue>

Science à la coque

Explorer les sciences au Lumen le temps d'une pause déjeuner

« Science à la coque » est une série de mini-conférences de trente minutes qui ont lieu une fois par mois au Lumen, à Gif-sur-Yvette. Après avoir réuni plus de cinq cents spectateurs et spectatrices lors de la saison 2025-2026, l'initiative revient pour dix nouvelles rencontres autour de thématiques scientifiques variées, avec une ambition : rendre les sciences accessibles et créer des passerelles entre recherche, société et territoire.

Trente minutes pour explorer, le temps d'une pause déjeuner, une thématique scientifique avec un ou une spécialiste du domaine. C'est la promesse de « Science à la coque », une série de mini-conférences concoctée par la Communauté d'agglomération Paris-Saclay (CPS) et le Lumen – la bibliothèque universitaire, centre d'innovation et espace culturel située sur le plateau de Moulon à Gif-sur-Yvette. Démarrée en octobre 2024, l'initiative est aujourd'hui devenue un rendez-vous régulier qui se tient une fois par mois, de 12h30 à 13h, à l'auditorium du Lumen. « C'est l'équipe de la culture scientifique de la Communauté d'agglomération Paris-Saclay qui a initié le projet. Au fil du temps, nous avons noué un partenariat et nous participons maintenant à la programmation des événements », précise Aboubacar Maiga, chargé de projets événementiels, culturels et scientifiques au Lumen.

Chacun des rendez-vous met en lumière une thématique différente, à travers une présentation de vingt minutes puis un débat de dix minutes avec le public. « C'est un temps assez court. » Mais c'est justement l'objectif : « L'idée est de proposer aux publics de venir découvrir un sujet, le temps d'une pause, puis de vaquer à leurs occupations. » De même, le créneau du déjeuner n'a pas été choisi au hasard. « On a constaté que ça convient très bien aux étudiantes et étudiants, qui sont le public principal, bien que les mini-conférences soient ouvertes à tous et toutes », poursuit Aboubacar Maiga.

Des chats à la matière extraterrestre

Lors de la saison 2025-2026, ce sont plus de cinq cents spectateurs et spectatrices qui ont assisté aux rendez-vous de « Science à la coque » autour de sujets très divers. L'équipe organisatrice s'applique en effet à mettre à l'honneur une large variété de sciences, y compris les sciences humaines et sociales, tout en abordant des sujets accessibles au grand public, grâce à l'intervention d'un ou une spécialiste.

Au cours des précédentes éditions, les mini-conférences ont ainsi proposé de s'intéresser à la musicothérapie, la matière extraterrestre, l'étude du patrimoine ou encore les capacités des chats à comprendre les signaux humains. Avec ce dernier sujet qui a fait intervenir Caroline Gilbert, professeure en éthologie à l'École nationale vétérinaire d'Alfort (ENVA), « on a eu un grand succès, on a rempli l'auditorium », sourit le chargé de projets.

Les rendez-vous ont également abordé des sujets complexes aux forts enjeux sociétaux, comme la soumission chimique avec Jean-Claude Alvarez, professeur de pharmacologie à l'Université de Versailles – Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), ou la dyspraxie chez l'enfant avec Caroline Huron, chercheuse en sciences cognitives et médecin psychiatre. « En fonction des thématiques, on observe que le public est

l'adaptation de l'agriculture aux défis liés au changement climatique. « Ces rendez-vous illustrent la volonté de la CPS de faire de la culture scientifique un outil de dialogue entre les habitantes et habitants, et les acteurs et actrices du territoire, en proposant des éclairages sur des sujets qui font partie de la vie locale et des préoccupations contemporaines », souligne l'équipe de la CPS.

« L'objectif est de faire découvrir la recherche dans toute sa diversité, tout en donnant aux connaissances scientifiques une résonance concrète dans la société. » — Fatma Tajani

assez varié. Pour la dyspraxie, le public était surtout composé de familles et de parents, sans doute habitant le plateau ou les environs. » L'actualité a également inspiré certains événements, à l'instar de celui organisé avec Frédéric Auchère, astronome à l'Institut d'astrophysique spatiale (IAS – Univ. Paris-Saclay/CNRS), venu dévoiler les secrets des éclipses solaires, devant un public attentif au moindre conseil pour assister à celle du 12 août 2026.

« La diversité des thématiques constitue l'une des particularités de Science à la coque », souligne l'équipe de la CPS, portée par Fatma Tajani, chargée de partenariat culture scientifique. « L'objectif est de faire découvrir la recherche dans toute sa diversité, tout en donnant aux connaissances scientifiques une résonance concrète dans la société. »

Dix rendez-vous inédits pour la troisième saison

Pour la saison 2026-2027, l'équipe du Lumen et de la CPS propose une programmation de dix rendez-vous inédits. Les deux premiers, organisés en septembre et octobre, ont abordé le sujet des articulations et de l'arthrose, et celui de l'art thérapie et de la santé mentale, pour faire écho, respectivement, au marathon d'automne de Paris-Saclay et à la Semaine d'information sur la santé mentale.

Au cours des prochains mois, les mini-conférences s'intéresseront à la médiation scientifique à travers les livres, l'observation des microquasars en astronomie ou encore la manipulation en ligne. Elles mettront aussi en lumière des enjeux importants pour le territoire, comme

En juin 2027, le Lumen aura la chance d'accueillir Alain Baraton, célèbre chef du service des jardins de Trianon et de Marly, pour une intervention sur les grands jardiniers du château de Versailles. « Ce sera l'une de ses dernières conférences avant qu'il ne quitte le château de Versailles », relève Aboubacar Maiga. Une façon de clôturer en beauté cette troisième saison de « Science à la coque ».

Pour celles et ceux qui n'ont pas assisté aux précédentes conférences, bonne nouvelle : elles seront prochainement disponibles sur la page Youtube du réseau des bibliothèques de l'Université Paris-Saclay. Les rendez-vous de la saison 2026-2027 seront également filmés et mis à disposition en ligne. **E.F.**

<https://www.lumen.universite-paris-saclay.fr/>

Art & sciences

Des résidences pour ouvrir aux artistes les portes de la recherche scientifique

Tout au long de l'année, la Scène de recherche - Théâtre Paris-Saclay accueille des équipes artistiques en résidence. En plus de mettre à disposition son plateau technique et son équipe, elle leur offre l'opportunité de rencontrer des scientifiques, afin d'encourager la création contemporaine et le dialogue entre art et sciences.

C'est l'histoire d'un palmier qui fait de la musique et se lance un jour dans une conversation avec une biologiste moléculaire... À la Scène de recherche - Théâtre Paris-Saclay, on aime raconter des histoires, parfois à dormir debout, mais surtout des histoires où théâtre, sciences et recherche dialoguent. Comme celle du palmier imaginée par le metteur en scène Victor Thimonier pour le spectacle *ExTRAS #1 Botanica*, qui sera présenté au théâtre, à Gif-sur-Yvette, en novembre 2026. À cette histoire succèdera une seconde : celle de deux carottes, l'une de glace, l'autre de boue, qui partagent leurs inquiétudes sur leur devenir dans *ExTRAS #2 Climate records*.

Au-delà de leur caractère insolite, ces spectacles partagent un point commun : celui d'être nés d'une résidence artistique au milieu d'une équipe scientifique. C'est tout l'enjeu des Expériences territoriales pour des rencontres arts sciences (ExTRAS) mises en place par la Scène de recherche. Les deux premières éditions ont conduit Victor Thimonier à poser ses valises durant plusieurs semaines au laboratoire Écologie, société et évolution (ESE - Univ. Paris-Saclay/CNRS/AgroParisTech) et au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE - UVSQ/CEA/CNRS).

« L'idée du projet ExTRAS est d'envoyer des artistes dans des laboratoires et d'en tirer de petites formes théâtrales itinérantes qui sont présentées à d'autres endroits, comme les médiathèques et amphithéâtres de l'université, ou les collèges et lycées de l'Essonne », résume Ulysse Baratin, directeur de la Scène de recherche - Théâtre Paris-Saclay. Plus de mille lycéennes et lycéens essonnais ont ainsi assisté à *Botanica*. Le deuxième volet, *Climate records*, s'apprête à suivre le même chemin, tandis que le troisième volet est en cours de conception avec le metteur en scène Julien Guyomard.

Créer des ponts entre art et recherche scientifique

Le projet ExTRAS s'inscrit dans une volonté de la Scène de recherche de participer activement à la création artistique, et de créer des ponts entre les artistes et le monde de la recherche scientifique. Dans cet objectif, le lieu accueille tout au long de l'année des compagnies en résidence. Elles bénéficient d'un accès au plateau technique et d'un accompagnement par toute l'équipe sur place, pour des durées très variables. Pour certains artistes, la résidence se change en une association « au long cours qui s'étend sur deux, trois voire quatre ans. C'est une manière d'approfondir le travail de création mené avec ces compagnies », souligne Ulysse Baratin.



© Victor Thimonier

Outre l'accompagnement technique et artistique, ces résidences visent à ouvrir de nouveaux horizons aux artistes, en leur donnant la possibilité de rencontrer des équipes de recherche de l'Université Paris-Saclay. « L'objectif est de leur donner la possibilité de comprendre les questionnements scientifiques, mais aussi de découvrir ce qu'est la recherche et le quotidien des scientifiques. Cela offre aux artistes une matière pour nourrir leur création. »

D'essais théâtraux autour des croyances...

Cette année encore, des artistes vont ainsi venir écrire, concevoir et mettre en scène leurs créations à la Scène de recherche - Théâtre Paris-Saclay. C'est le cas de Marion Boudier et Guillermo Pisani de la compagnie Le système pour devenir invisible (LSDI) qui ont conclu une association de trois ans avec le théâtre. Durant cette période, le duo va rencontrer des scientifiques et créer des essais théâtraux pour le projet « Croyances » démarré en 2022. « Ce projet est nourri par un dialogue soutenu avec des chercheurs et chercheuses, autour de cette grande question des croyances, des représentations et des idéologies », explique Marion Boudier.

Sur la trentaine d'essais envisagés, une quinzaine ont déjà vu le jour. La pièce *Afterwork*, à découvrir au théâtre en janvier 2027, s'intéresse par exemple aux croyances sur les rôles genrés au travail, et découle d'un dialogue avec la chercheuse suédoise Johanna Rickne rencontrée grâce au Centre d'économie de l'ENS Paris-Saclay (Ceps). « L'essai n'est pas juste une mise en forme dramatique des conclusions de Johanna Rickne. Il y a un équilibre entre scientificité et théâtralité afin de créer des impressions, soulever des questions et solliciter le point de vue des spectateurs

et spectatrices », précise Guillermo Pisani. Un autre essai, *Fake News*, explorant le thème de la vérité et de la mise en doute de la parole scientifique, sera dévoilé les 27 et 28 novembre 2026.

... à des recherches musicologiques

Au cours de ces résidences, il arrive que la Scène de recherche devienne elle-même un terrain d'expérimentations. Depuis 2025, la musicienne et chercheuse Nathanaëlle Raboisson et ses collègues de la compagnie 20.8, Paolo Castrini et Pierre Couprie, s'y rendent pour mener leurs expériences de spatialisations sonores. Celles-ci consistent à interpréter des pièces de musique électroacoustique fixes ou improvisées, en exploitant les quarante-deux haut-parleurs de la salle, disposés sous forme de dôme et commandés via un logiciel. « Ce système nous donne la possibilité de créer des espaces virtuels pour déplacer le son d'un côté à l'autre », décrit Paolo Castrini. L'objectif est ainsi « d'improviser sur cet orchestre de haut-parleurs et d'étudier les nouveaux modes de jeu créatifs que cela engendre chez le musicien ou la musicienne, et chez l'interprète », éclaire Nathanaëlle Raboisson.

Une première année de résidence a donné la possibilité à l'équipe de réaliser de premiers tests et observations qu'elle et ils espèrent approfondir durant l'année à venir. « Le fait de pouvoir disposer d'un tel lieu est très précieux dans notre démarche de recherche-création », appuie la musicienne et chercheuse. Ce travail de spatialisations sonores sera à découvrir en janvier 2027 à la Scène de recherche - Théâtre Paris-Saclay. **E.F.**

<https://scenederecherche.ens-paris-saclay.fr/>



● Recherche

10 De nouvelles voies
contre le cancer du sein

13 Voyage aux
frontières du quantique

18 Comprendre
les mécanismes du goût

21 La recherche en lutte
contre les PFAS

● Business & Innovation

16 Agir face
aux risques
climatiques

Cancer du sein

Ces pistes de recherche qui ouvrent de nouvelles voies thérapeutiques

Le cancer du sein représente le cancer le plus fréquent chez la femme. Bien que son pronostic se soit amélioré, grâce au dépistage précoce, la pathologie demeure meurtrière et continue de nécessiter un traitement lourd pour les patientes. Au sein de la communauté de l'Université Paris-Saclay, des scientifiques explorent aujourd'hui différentes pistes de recherche pour mieux cibler les tumeurs, traiter les formes les plus invasives et limiter les effets secondaires.

Mots-clefs

Chimiothérapie
—
Radiothérapie
—
Biomarqueur
—
Nanoparticules
—

Chaque année, le mois d'octobre se pare de rose pour informer sur le cancer du sein et son dépistage. On estime aujourd'hui qu'une femme sur huit développera un cancer du sein au cours de sa vie. Bien qu'il présente un bon pronostic, lorsqu'il est détecté à un stade précoce, ce cancer demeure l'un des plus meurtriers, avec un nombre de décès estimé à 12 000 par an. D'où l'importance du dépistage que l'initiative Octobre rose met en lumière à chaque édition à travers des centaines d'événements. « *Le mois d'octobre est très important pour nous* », confirme Clara Nahmias, directrice de recherche CNRS au sein du laboratoire Prédictors moléculaires et nouvelles cibles en oncologie (PMNCO – Univ. Paris-Saclay/Inserm/Gustave Roussy). Depuis plus de quinze ans, la scientifique consacre ses recherches aux cancers féminins. Elle a également fondé l'association Prolific, dont l'un des objectifs est de contribuer au financement de la recherche en biologie cellulaire, notamment sur le cancer du sein.

Initialement, Clara Nahmias ne travaillait pourtant pas sur le cancer, mais sur la communication cellulaire. « *C'est la façon dont les cellules dialoguent entre elles et dont elles ressentent leur environnement*. » Pour étudier cela, « *on s'intéresse aux récepteurs qui captent ce qu'il se passe à l'extérieur des cellules et transmettent les informations à l'intérieur*. » C'est en se penchant sur un récepteur particulier que la chercheuse et ses collègues mettent en évidence une protéine encore jamais identifiée, ATIP3 (pour *AT2-interacting protein 3*), et découvrent qu'elle bloque la prolifération des cellules. « *Le gène qui code cette protéine est situé dans une région très fragile dans les cancers. De fil en aiguille, on décide alors d'aller voir si la protéine y joue un rôle*. »

Clara Nahmias et ses collègues s'intéressent aux cancers du foie et du sein, avant de se restreindre à ce dernier. « *Travailler sur un cancer féminin est quelque chose qui me touche* », confie la

50 % des cancers invasifs présentent des niveaux bas d'ATIP3. Or, pour le sous-type triple négatif, la proportion monte à 70 %, avec des niveaux encore plus bas de la protéine.

« Le cancer du sein triple négatif concerne principalement des femmes de moins de quarante ans. Il est donc d'autant plus urgent de trouver des thérapies ciblées. » — Clara Nahmias

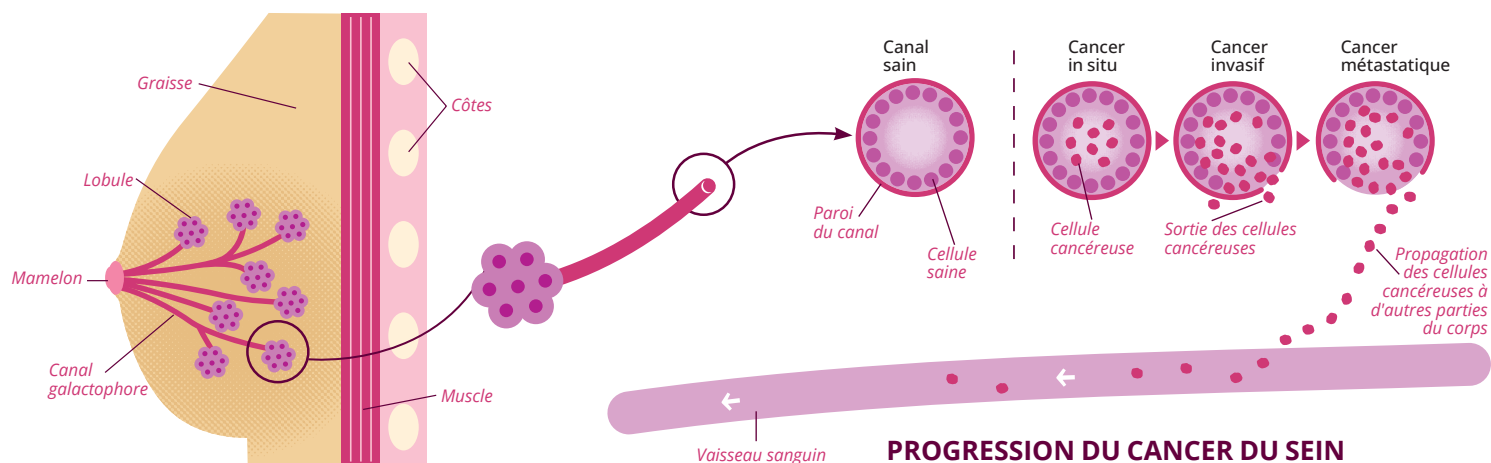
directrice de recherche. Mais ce cancer a surtout un « avantage » : celui d'être suffisamment répandu pour disposer de grandes cohortes de patientes, et donc « *de beaucoup de modèles de cellules pour travailler* ». L'équipe confirme qu'ATIP3 est présente dans les cellules épithéliales de la glande mammaire, les cellules affectées dans la majorité des cancers du sein. Plus intéressant, elle met en évidence une nette différence entre les cellules saines et cancéreuses.

ATIP3 agit comme le « frein d'une voiture »

« *Dans les échantillons cancéreux, on s'est aperçu qu'ATIP3 est très diminuée, voire disparaît complètement. Et plus le cancer est agressif, moins il y a de protéine*. » Parmi les cancers mammaires, il existe une forme considérée comme particulièrement agressive : le sous-type dit triple négatif, qui se caractérise par un risque accru de métastase – de propagation à d'autres parties du corps – et de récurrence précoce. « *Ce cancer concerne principalement des femmes de moins de quarante ans. Il est donc d'autant plus urgent de trouver des thérapies ciblées*. » Les travaux montrent que près de

« *On ne connaît pas les mécanismes qui font qu'ATIP3 diminue* », concède Clara Nahmias. En revanche, on sait désormais quelle fonction la protéine remplit : ATIP3 interagit avec les microtubules, des structures cylindriques qui constituent le squelette des cellules et qui sont impliquées dans la division cellulaire. « *ATIP3 agit un peu comme le frein d'une voiture* », illustre la biologiste. « *Quand elle est présente, elle stabilise le squelette et aide la cellule à proliférer de manière contrôlée. Mais quand elle diminue ou disparaît, on enlève le frein, la cellule s'emballe et se met à proliférer très vite*. » Dans le contexte tumoral, ATIP3 fait ainsi office de biomarqueur pronostic : sa diminution, ou son absence, est associée à un mauvais pronostic. En allant plus loin, un paradoxe inattendu est cependant identifié.

Il apparaît que la diminution d'ATIP3 implique aussi une plus grande vulnérabilité à la chimiothérapie. « *Au début, on a pensé que c'était complètement contre-intuitif. Puis on a compris qu'en l'absence d'ATIP3, le squelette de la cellule est plus dynamique. Il a tendance à former des structures bizarres qui sont bien plus sensibles à la chimiothérapie*. »



Le cytosquelette, et en particulier les microtubules, fait en effet partie des cibles principales des chimiothérapies anticancéreuses de type taxanes qui sont parmi les plus utilisées. De fait, ATIP3 serait aussi un biomarqueur prédictif de réponse au traitement.

Vers une thérapie plus ciblée ?

Si la chimiothérapie a montré son efficacité pour traiter de nombreux cancers, elle demeure un traitement peu sélectif qui s'attaque aussi bien aux tumeurs qu'à certaines cellules saines. En découlent des effets secondaires tels que la perte de cheveux. Avec les découvertes sur ATIP3, une nouvelle porte s'ouvre au laboratoire PMNCO : et si la protéine aidait à mettre au point une thérapie plus ciblée ?

Les recherches de l'équipe aboutissent à l'identification de deux composés - des inhibiteurs - agissant sur des enzymes du cycle cellulaire appelées WEE1 et PKMYT1. Ceux-ci ont pour effet de pousser la cellule à entrer en division, même lorsqu'elle n'y est pas prête, ce qui conduit à sa mort. Des essais sont actuellement menés chez la souris afin d'étudier les effets des inhibiteurs sur des cellules de cancer triple négatif exprimant ou non ATIP3. « Notre hypothèse est que les cellules n'exprimant pas ATIP3 vont mieux répondre à la combinaison des deux composés que celles qui expriment la protéine », indique Clara Nahmias.

À terme, l'objectif n'est pas de remplacer la chimiothérapie mais de personnaliser le traitement en fonction des profils. « Quand une patiente se présente, l'idée est de tester son niveau d'ATIP3. S'il est élevé, il y a un risque qu'elle ne réponde pas à la chimiothérapie. Par contre, si le niveau est faible ou nul, on sait qu'elle sera sensible au traitement, mais aussi potentiellement à la combinaison d'inhibiteurs », détaille la directrice de recherche.

Administrer la chimiothérapie par voie sous-cutanée

Comme au laboratoire PMNCO, de nombreuses équipes travaillent à identifier de nouvelles cibles ou méthodes pour traiter le cancer du sein. Certaines s'intéressent en particulier à la chimiothérapie et tentent de développer des solutions pour booster son efficacité, tout en réduisant son impact délétère sur les patientes. À l'Institut Galien Paris-Saclay (IGPS - Univ. Paris-Saclay/CNRS), c'est cette seconde voie qu'explorent Julien Nicolas et son équipe Nanomédicaments pour le traitement des maladies graves (NANOMED). « Notre angle d'attaque consiste d'abord à simplifier la chimiothérapie anti-cancéreuse », résume le directeur de recherche CNRS.

À l'heure actuelle, la très grande majorité des chimiothérapies sont administrées par voie intraveineuse. « Cette voie d'administration a démontré son efficacité mais elle est assez complexe à mettre en œuvre et lourde pour le patient ou la patiente. » Elle nécessite en effet que la personne se fasse poser, à l'hôpital, un cathéter veineux central afin d'injecter les chimiothérapies directement dans une veine. « C'est à la fois contraignant et

douloureux », souligne Julien Nicolas. « Il y a aussi des risques d'extravasation [de fuite des médicaments dans les tissus environnants] et d'infections liées au séjour à l'hôpital. »

Pour réduire la complexité du traitement, de même que son coût, une stratégie est proposée : transposer la chimiothérapie intraveineuse vers une chimiothérapie sous-cutanée. Autrement dit, ne plus injecter les médicaments dans une veine mais sous la peau, via une simple piqûre. « C'est un geste qui est relativement simple à pratiquer et qui est potentiellement réalisable à domicile, avec ou sans l'intervention de personnel hospitalier. » Bien que le geste soit simple, il nécessite de surmonter certaines difficultés. Car la grande majorité des anti-cancéreux sont des molécules très irritantes et vésicantes (qui provoquent des lésions).

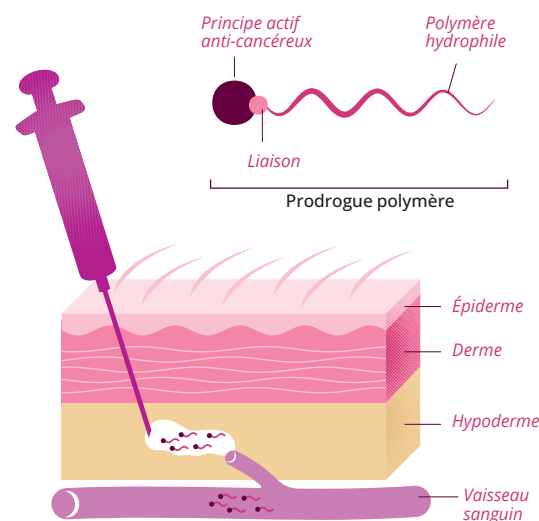
« Lorsqu'ils sont injectés en sous-cutané, les taxanes ont tendance à stagner sous la peau et à provoquer des nécroses. Et le constat serait le même pour la plupart des chimiothérapies. » Afin d'empêcher cela, l'idée est de coupler les molécules anti-cancéreuses à des chaînes de polymères biocompatibles et solubles dans l'eau. L'ensemble forme alors une « prodrogue » dont l'avantage est double. Grâce à ce couplage, le polymère va, d'une part, imposer sa solubilité à la molécule et, d'autre part, la rendre momentanément inactive. On obtient alors une prodrogue qui, injectée sous la peau, est capable de passer dans la circulation sanguine et de ne libérer son principe actif qu'après un certain temps.

Les premiers travaux sont menés sur le paclitaxel, un principe actif utilisé dans la formulation du taxol qui est couramment employé contre le cancer du sein notamment. En changeant la nature du polymère, l'équipe développe une série de prodrogues dont elle étudie les propriétés en termes d'injectabilité, de solubilisation du principe actif, etc. C'est finalement le polyacrylamide, un polymère biocompatible notamment employé dans le comblement de rides, qui montre les meilleurs résultats.

Par la suite, des tests menés sur un modèle animal, ainsi qu'un modèle de peau humaine, confirment que les prodrogues n'induisent aucune toxicité au niveau des tissus cutané et sous-cutané. Ils montrent aussi que le paclitaxel est libéré de façon progressive et persiste jusqu'à quatre jours dans l'organisme. Ceci présente un intérêt majeur comparé à la chimiothérapie en intraveineuse qui est 100 % disponible mais conduit à une concentration maximale immédiate et de courte durée. Or, plus celle-ci est élevée, plus elle induit de la toxicité. « Avec notre prodrogue, qui fait office de réservoir, la concentration des molécules anti-cancéreuses est plus faible mais leur libération est prolongée, ce qui fait qu'on améliore nettement l'exposition des cellules cancéreuses à la chimiothérapie. »

Moduler les schémas d'administration

En 2025, Julien Nicolas et ses collègues collaborent avec une équipe spécialisée en oncologie computationnelle, afin de



L'ADMINISTRATION SOUS-CUTANÉE D'UNE CHIMIOTHÉRAPIE AVEC UNE PRODROGUE

développer un modèle numérique capable de simuler les schémas d'administration de la chimiothérapie et son efficacité. Après entraînement du modèle sur des données expérimentales, plusieurs simulations sont réalisées en faisant varier la concentration et le nombre des doses administrées.

Alors que le schéma « classique » consiste à administrer une dose élevée et identique par semaine, pendant trois semaines, « on observe qu'une dose initiale élevée suivie de petites doses aboutit à une quasi éradication de la tumeur chez la souris. Cela confirme qu'il est possible de moduler les schémas d'administration et d'identifier des schémas plus efficaces », appuie le directeur de recherche. Ces observations, validées expérimentalement chez la souris, restent à être transposées chez l'être humain. Néanmoins, le fait d'administrer la chimiothérapie par petites doses aiderait à en réduire la toxicité et les effets secondaires. Ce bénéfice s'ajouterait à ceux de l'administration en sous-cutané, plus confortable pour les patientes et patients, et moins onéreuse.

L'équipe a déjà réussi à étendre le développement des prodrogues à un autre principe actif, la gemcitabine, aussi prescrite dans le traitement du cancer du sein. Depuis peu, elle mène par ailleurs des essais avec des injecteurs sans aiguille. « Ce sont des injecteurs qui propulsent la prodrogue solubilisée à travers les pores de la peau. Cela dure une microseconde mais le devenir et l'efficacité thérapeutique sont exactement les mêmes qu'avec une injection traditionnelle ! », s'enthousiasme Julien Nicolas. « Cela présenterait un avantage pour celles et ceux qui ont la phobie des aiguilles et aiderait à démocratiser la chimiothérapie sous-cutanée. »

Des nanoparticules contre la radiorésistance

La radiothérapie fait partie des traitements communément utilisés contre le cancer du sein. Elle consiste à administrer des rayons de haute énergie pour détruire les cellules cancéreuses et empêcher leur développement. Souvent employée après une chirurgie mammaire, la radiothérapie a fait ses preuves pour

réduire les risques de récurrence. Toutefois, il arrive que les tumeurs montrent de la radio-résistance, où le traitement perd de son efficacité et les cellules cancéreuses parviennent tout de même à se développer.

Au Laboratoire du stress oxydant et des dommages à l'ADN (LOX3D) du Département de radiobiologie cellulaire et moléculaire (DRCM – Univ. Paris-Saclay/CEA/Inserm/Univ. Paris Cité), une piste est actuellement explorée pour amplifier les effets de la radiothérapie contre le cancer du sein : celle des nanoparticules. *« Les nanoparticules sont des éléments qui mesurent moins de cent nanomètres (10^{-9} mètre) dans la plupart de leurs dimensions. Dans notre cas, ce sont des sphères composées de métaux dits de haut numéro atomique et biocompatibles, comme l'or, le titane et le platine »,* éclaire Emmanuelle Bourneuf, chercheuse au LOX3D. La stratégie consiste à employer ces éléments comme agents de radioamplification, par l'intermédiaire d'une cascade de réactions physiques et chimiques se déroulant dans les tumeurs.

Les nanoparticules ont en effet la capacité de s'accumuler spécifiquement dans les tumeurs, grâce à la porosité de leurs vaisseaux sanguins. Lors d'une séance de radiothérapie, les nanoparticules métalliques vont interagir avec les rayonnements, ce qui déclenche une libération massive d'électrons. À leur tour, ces derniers induisent la production de radicaux libres, qui vont générer des dommages au sein des cellules cancéreuses et provoquer, à terme, leur mort. Grâce à ce processus, les nanoparticules donnent l'espoir d'amplifier l'efficacité des rayonnements sur les tumeurs de façon spécifique, *« tout en réduisant les effets sur les potentiels tissus sains qui l'entourent »,* relève Emmanuelle Bourneuf.

La piste apparaît d'autant plus prometteuse contre les tumeurs résistantes. Le cancer se manifeste en effet par la formation d'une tumeur primaire qui est constituée de cellules épithéliales se multipliant très rapidement. Or ces cellules sont très jointives : *« elles sont tellement attachées entre elles qu'elles ne peuvent pas passer dans la circulation et métastaser ailleurs. »* Pour y parvenir, les cellules opèrent une transition dite épithélio-mésenchymateuse. Ceci provoque des modifications au niveau de leur génome et l'acquisition d'un certain nombre de propriétés d'invasion et de résistance. Elles deviennent alors capables de se séparer de leurs voisines et de migrer pour former des métastases, puis d'autres tumeurs. *« Les cellules mésenchymateuses sont généralement en faible nombre mais sont associées à des formes tumorales plus agressives et résistantes. L'objectif est donc de s'y attaquer spécifiquement »,* explique la chercheuse. C'est ainsi une découverte importante que révèle une étude publiée par l'équipe en 2025 sur des nanoparticules d'or et d'oxyde de titane.

En réalisant des essais sur différentes lignées cellulaires cancéreuses, les scientifiques montrent que les cellules mésenchymateuses internalisent plus de nanoparticules que leurs homologues épithéliales. La différence semble provenir de l'expression d'un récepteur particulier,

« Tous les cancers radio-résistants sont de bons candidats pour les protocoles combinant radiothérapie et nanoparticules. »

— Sandrine Lacombe

appelé CD44 et situé à la surface des cellules mésenchymateuses. Selon les observations, les nanoparticules se retrouveraient piégées, puis internalisées dans la cellule via un réseau de molécules fixées par le récepteur. Cette découverte met en évidence un mécanisme clé pour augmenter les effets de la radiothérapie sur les cellules cancéreuses les plus complexes à cibler et éliminer.

Booster l'efficacité d'autres formes de radiothérapie

En plus de ces recherches, l'équipe de LOX3D collabore actuellement avec Erika Porcel et Sandrine Lacombe de l'Institut des sciences moléculaires d'Orsay (ISMO – Univ. Paris-Saclay/CNRS), qui ont mis au point un procédé de fabrication original de nanoparticules de platine. Désormais breveté, celui-ci donne la possibilité d'obtenir, en une seule étape et avec un taux de 100 %, des solutions stériles de nanoparticules, non-toxiques et biocompatibles. Il fait appel à une technique de radiolyse qui utilise des rayonnements pour décomposer les molécules. *« L'avantage est que les nanoparticules sont déjà soumises à des radiations pendant leur fabrication, elles ne vont donc pas changer en étant exposées à un autre rayonnement dans l'organisme »,* souligne Sandrine Lacombe.

Les propriétés de ces nanoparticules de platine font l'objet de plusieurs études. L'équipe de l'ISMO montre que celles-ci possèdent bien des propriétés de radioamplification, mais présentent aussi des avantages pour servir d'agents de contraste et améliorer la visibilité des tissus observés par imagerie. Une autre étude, publiée en 2022 avec une équipe du laboratoire d'Imagerie biomédicale multimodale Paris-Saclay (BioMaps - Univ. Paris-Saclay/CEA/CNRS/Inserm), analyse le comportement des nanoparticules dans un modèle animal de cancer, à l'aide de la tomographie par émission de positons (TEP). Les résultats mettent en évidence une accumulation des agents radioamplificateurs dans les tumeurs, durant plusieurs jours. Cette observation est compatible avec un protocole incluant une injection de nanoparticules suivie de séances de radiothérapie. Or ceci ouvrirait la possibilité de diminuer la dose totale administrée et donc les potentiels effets sur les tissus sains.

Sandrine Lacombe et Erika Porcel conduisent leurs études sur plusieurs types de cancers, y compris du sein. *« Tous les cancers radio-résistants sont de bons candidats pour les protocoles combinant radiothérapie et nanoparticules. »* L'équipe travaille aujourd'hui sur des modèles cellulaires tridimensionnels – des sphéroïdes – pour évaluer le comportement des nanoparticules et leurs effets. Sur des modèles de cancer du cerveau, du pancréas et de l'utérus, les observations indiquent

que les nanoparticules pénètrent sans difficulté et induisent une augmentation d'environ 30 % des effets des radiations.

À l'ISMO, les études ne portent pas que sur la radiothérapie conventionnelle, dont les irradiations se font avec des faisceaux de rayons X, puisqu'elles explorent aussi des modalités d'irradiation alternatives. En collaborant avec des scientifiques japonais, l'équipe a démontré l'efficacité des nanoparticules sur la hadronthérapie, utilisant des particules telles que des protons ou des ions carbone. Depuis récemment, elle étudie également, avec des chercheurs et chercheuses de Gustave Roussy, l'effet des nanoparticules sur la FLASH-thérapie, qui emploie des électrons de très haute énergie à très haut débit. Ces collaborations entre équipes de recherche sont notamment rendues possibles via l'objet interdisciplinaire iNanoTheRad de l'Université Paris-Saclay, qui se focalise sur le développement de radiothérapies innovantes contre le cancer.

Bien que les recherches demeurent à poursuivre, les résultats s'accumulent pour confirmer le fort potentiel de cette stratégie de traitement. *« C'est un domaine émergent mais qui a de l'avenir »,* appuie Sandrine Lacombe, citant l'exemple de l'entreprise française Nanobiotix. Cette dernière mène actuellement, aux États-Unis, des essais cliniques avancés sur les effets de leur composé NBTXR3, constitué de nanoparticules d'oxyde d'hafnium et destiné à amplifier la dose de radiothérapie déposée à l'intérieur des cellules tumorales.

De nouvelles armes verront-elles bientôt le jour contre le cancer du sein ? Ces avancées de la recherche ouvrent en tout cas de nouvelles perspectives dans la prise en charge de la pathologie et de ses formes les plus invasives. Elles constituent aussi de nouveaux pas en avant vers des traitements plus ciblés et personnalisés, avec l'espoir de mieux répondre aux caractéristiques de chaque patiente, tout en limitant les effets secondaires et l'impact sur leur qualité de vie. **E.F.**

Références

- C. Nahmias *et al.*, Targeting WEE1 kinase as a therapeutic strategy in ATIP3-deficient breast cancers, *Cancer Letters*, 2025.
- J. Nicolas *et al.*, Degradable water-soluble polymer prodrugs for subcutaneous delivery of irritant anticancer drugs, *Chemical Science*, 2025.
- M. Hullo *et al.*, The Uptake of Metallic Nanoparticles in Breast Cancer Cell Lines is Modulated by the Hyaluronan-CD44 Axis, *ACS Nano*, 2025.
- C. Truillet *et al.*, Pharmacokinetics derived from PET imaging of inspiring radio-enhancer platinum nanoparticles, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 2022.

Voyage aux frontières du quantique

Des circuits supraconducteurs à l'informatique quantique de demain

Un chat à la fois mort et vivant : la fantaisie imaginée par Schrödinger est célèbre. Mais au-delà de son incongruité, elle interroge aussi le devenir des lois de la physique quantique lorsque l'on quitte l'échelle de l'atome pour celle macroscopique et, par exemple, l'observation d'un circuit électrique supraconducteur. Les expériences menées dans les années 1980 par les physiciens John Clarke, Michel Devoret et John Martinis ont révélé qu'un tel circuit est capable de montrer des effets quantiques macroscopiques et de se comporter comme un atome artificiel géant. Cette découverte majeure leur a valu le prix Nobel de physique 2025. L'occasion, aujourd'hui, de remonter le fil de cette histoire avec des chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay, et de partir à la rencontre des équipes qui inventent les outils quantiques de demain.

Mots-clefs

Supraconductivité

Jonction Josephson

Effet tunnel quantique

Système quantique

Dans sa célèbre expérience de pensée imaginée en 1935, le physicien autrichien Erwin Schrödinger rend compte du caractère apparemment absurde des lois de la mécanique quantique une fois portées à l'échelle macroscopique. D'après ces lois, un chat – un objet macroscopique constitué de milliers d'atomes – enfermé dans une boîte avec une fiole de poison susceptible de casser à tout moment, serait à la fois mort et vivant. C'est seulement lorsque la boîte est ouverte par un observateur que l'état du chat est déterminé. Bien que la situation paraisse saugrenue, le chat ne pouvant être simultanément mort et vivant, elle illustre deux des principes fondamentaux de la physique quantique : la superposition des états et l'effet de l'observation (ou la mesure).

À l'échelle de l'infiniment petit, un objet physique isolé possède des états bien définis. Pour un atome, ces états sont associés à ses niveaux d'énergie dits discrets : un atome passe ainsi de son niveau d'énergie le plus bas (état fondamental) à un niveau d'énergie supérieur (état excité) par des sauts d'énergie aux valeurs bien définies. Or la superposition quantique veut que tant qu'on ne l'observe pas, c'est-à-dire tant qu'on n'effectue pas de mesures, cet atome existe possiblement et simultanément dans plusieurs états.

L'observation de l'atome brise cette superposition d'états et l'atome n'existe plus que dans un seul état, fondamental ou excité.

Pour les physiciens, se pose alors la question suivante : les objets macroscopiques peuvent-ils se comporter selon les mêmes lois de la mécanique quantique ? C'est dans le milieu des années 1980 que le Britannique John Clarke, le Français Michel Devoret – docteur de l'Université Paris-Saclay (anciennement Université Paris-Sud) – et l'Américain John Martinis réalisent une série d'expériences sur des circuits supraconducteurs mettant en évidence le comportement quantique d'une variable macroscopique. Récompensés par le prix Nobel de physique en 2025, ces travaux ont alimenté les recherches ultérieures en physique quantique, des tout premiers qubits – le qubit étant l'homologue quantique du bit de l'informatique traditionnelle – aux théories du contrôle des systèmes quantiques, en passant par le développement de l'informatique quantique.

De la supraconductivité aux débuts de l'électronique quantique

Les travaux de John Clarke, Michel Devoret et John Martinis, menés à l'Université de Californie à Berkeley, reposent sur une série de développements en physique, commencés par la découverte de la supraconductivité en 1911. Alors qu'il étudie la résistance électrique du mercure à très basse température, c'est-à-dire l'aptitude de ce métal à s'opposer au passage du courant électrique, le Néerlandais Heike Kamerlingh Onnes fait une découverte inattendue : à 4,2 Kelvin (K), une température proche du zéro absolu (0 K ou -273,15°C), cette résistance chute brutalement. Son observation marque la découverte de la supraconductivité. Il faut cependant attendre 1957 et la théorie mise au point par les Américains John Bardeen, Leon Cooper et John Robert Schrieffer pour comprendre les mécanismes microscopiques à l'origine de la supraconductivité.

Dans un conducteur ordinaire, le courant électrique naît de la libre circulation des électrons dans ce matériau. Cette

circulation est toutefois freinée par le réseau cristallin, l'arrangement tridimensionnel des atomes du matériau, ce qui produit la résistance électrique. Mais à très basse température, dans certains matériaux, les électrons, qui normalement se repoussent mutuellement car de même charge, s'apparient et forment ce que l'on appelle des paires de Cooper. Ces nouvelles particules se synchronisent, débouchant sur un courant sans aucune résistance électrique. C'est la supraconductivité. Ce phénomène tient à un renversement complet du comportement des électrons. Pris individuellement, deux électrons n'occupent jamais le même état quantique. Il s'agit du principe d'exclusion de Pauli. Mais lorsqu'ils s'associent en paires de Cooper, la règle s'inverse : les électrons perdent leur individualité et l'ensemble des paires d'un matériau supraconducteur se rassemble alors en un seul et même état quantique, décrit par une unique fonction d'onde à l'échelle du matériau tout entier.

Peu de temps après cette découverte, en 1962, le Britannique Brian Josephson décrit la jonction Josephson, un circuit dans lequel deux matériaux supraconducteurs sont séparés par une fine barrière isolante. « La jonction Josephson est l'élément central pour faire des circuits supraconducteurs intéressants », explique Hugues Pothier, chercheur du groupe Quantronique au sein du Service de physique de l'état condensé (SPEC – Univ. Paris-Saclay/CEA/CNRS). « C'est l'équivalent des transistors pour les circuits semi-conducteurs. » Ce nouvel élément trouve rapidement des applications, notamment dans la mesure précise des champs magnétiques. Il mène aussi le chercheur théoricien américano-britannique Anthony Leggett à proposer, en 1978, d'utiliser ce circuit pour observer l'effet tunnel à échelle macroscopique. C'est cette suggestion qui inspirera plus tard les travaux des récipiendaires du prix Nobel 2025.

Démonstration de l'effet tunnel quantique macroscopique

Si la mécanique quantique paraît si peu intuitive, l'effet tunnel en est peut-être la cause. À l'échelle macroscopique, si on lance une balle contre un mur, elle

LE PHÉNOMÈNE DE LA SUPRACONDUCTIVITÉ

Conducteur classique



Dans un conducteur classique, les électrons circulent librement et entrent en collision les uns avec les autres.

Supraconducteur



Lorsqu'un matériau devient supraconducteur, les électrons s'associent par paires, appelées paires de Cooper, et créent un courant sans résistance.

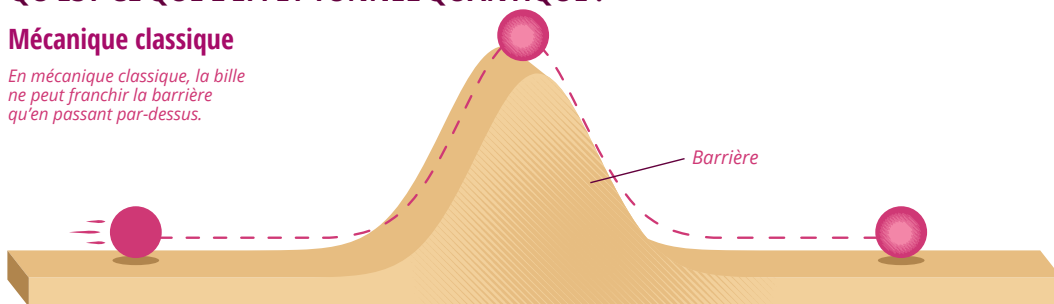


Associés en paires, les électrons se comportent comme s'il s'agissait d'une seule et même particule. Ils forment alors une seule onde quantique qui occupe tout le matériau.

QU'EST-CE QUE L'EFFET TUNNEL QUANTIQUE ?

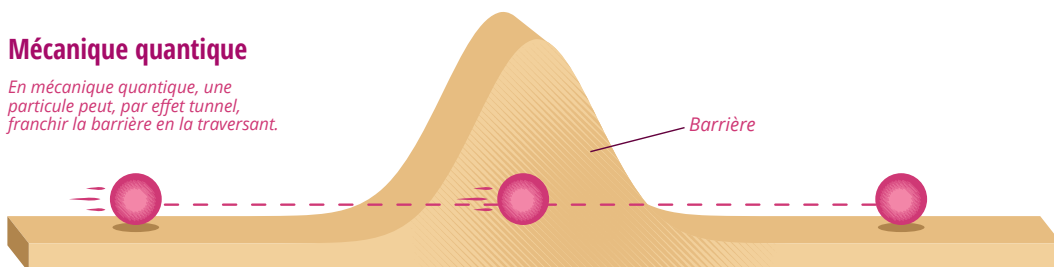
Mécanique classique

En mécanique classique, la bille ne peut franchir la barrière qu'en passant par-dessus.



Mécanique quantique

En mécanique quantique, une particule peut, par effet tunnel, franchir la barrière en la traversant.



rebondira dessus à tous les coups. Dans le monde quantique, il y a une probabilité non nulle qu'une particule lancée contre une barrière - d'énergie, ou solide et suffisamment fine - se retrouve de l'autre côté, comme si elle passait à travers un tunnel invisible. C'est l'effet tunnel quantique.

Au début des années 1980, Anthony Leggett énonce de façon théorique qu'il devrait être possible d'observer, grâce à la jonction Josephson, l'effet tunnel à l'échelle d'un circuit en entier. En suivant le comportement de la tension électrique qui décrit l'état macroscopique du système, il serait possible d'observer le basculement du circuit par effet tunnel d'un état avec une tension nulle à un état avec une tension non-nulle.

La raison de son choix : la dynamique du circuit supraconducteur, une fois les équations posées, « est formellement équivalente à celles décrivant une bille dans un potentiel en tôle ondulée », avance Hugues Pothier, qui poursuit son analogie. « On pose une bille sur une tôle ondulée, on incline la tôle et la bille reste piégée dans un creux jusqu'à ce que la pente soit suffisante pour que la bille s'échappe. » Dans le cas du circuit quantique, le courant joue le rôle de l'inclinaison de la tôle et la tension celui de la vitesse de la bille. « Quand on augmente le courant à travers la jonction Josephson, il n'y a pas de tension, parce que la bille reste dans le creux de la tôle. Et puis, au bout d'un moment, la bille s'échappe : elle acquiert de la vitesse et il y a une tension », complète le chercheur. Mais si cette bille obéit bien aux lois de la physique quantique, il est alors aussi possible qu'elle s'échappe du creux de la tôle par effet tunnel.

Dès lors, l'enjeu des expériences réalisées en 1985 par Michel Devoret et ses collègues est de prouver que cette bille s'échappe bien par effet tunnel et non par agitation thermique, car ces deux phénomènes produisent un même résultat expérimental : un saut brutal de la tension. Pour le confirmer, l'équipe mesure le taux d'échappement de la bille en fonction de la température du circuit. « À température finie, il y a du bruit dans le courant. C'est comme si la tôle était un petit peu secouée »,

explique Hugues Pothier. À cause de cette agitation, la bille est aussi susceptible de s'échapper par effet thermique. Mais ce taux d'échappement dépend de la température : plus elle baisse, moins les agitations sont fortes et plus les chances que la bille s'échappe sont faibles. Le taux d'échappement par effet tunnel, lui, ne dépend pas de la température. En refroidissant progressivement le circuit, les chercheurs mesurent ainsi une diminution du taux d'échappement qui, en dessous d'une température critique, se met à saturer. Il s'agit là de la signature expérimentale du saut de tension de la jonction Josephson par effet tunnel macroscopique.

Les chercheurs procèdent ensuite à une deuxième expérience. « Comme ce circuit se comporte comme une particule dans un minimum de potentiel, on s'attend, de manière quantique, à ce qu'il y ait des niveaux quantifiés d'énergie », commente Hugues Pothier. En envoyant des paquets d'énergie bien déterminée sous la forme de micro-ondes, les chercheurs parviennent à observer les sauts d'énergie entre l'état fondamental et les états excités du circuit. Il apparaît alors que ce circuit, visible à l'œil nu, se comporte comme un atome artificiel géant aux propriétés quantiques.

La naissance du groupe Quantronique

Ces expériences ne restent pas sans suite. De retour en France, Michel Devoret rejoint le CEA Paris-Saclay et fonde avec ses collègues Daniel Esteve et Cristian Urbina le groupe Quantronique au sein du SPEC, « avec l'idée de faire des circuits électroniques quantiques », raconte Hugues Pothier. « Ils se sont dit qu'il y a un autre effet quantique qu'il serait bien de montrer : placer le circuit dans une superposition d'états. » Au départ, l'idée paraît inatteignable pour l'équipe et celle-ci bifurque alors vers d'autres phénomènes de cette physique en plein essor. Puis, au milieu des années 1990, les chercheurs mettent au point la « boîte à paires de Cooper », un îlot métallique supraconducteur qui, relié au reste du circuit par une jonction Josephson, est capable de se trouver dans

une superposition d'états entre zéro et une paire de Cooper excédentaire. Dix ans après avoir jugé la superposition d'états hors de portée dans un circuit électrique, la voici enfin observée !

Il reste cependant un défi de taille : parvenir à manipuler cette superposition. Une première percée survient en 1999 au Japon, où une équipe de scientifiques réussit à faire osciller un tel système entre ses deux états. Mais c'est au sein du groupe Quantronique qu'est développé le premier vrai qubit supraconducteur : le quantronium. « On a su amener le système dans une superposition d'états et faire des mesures suffisamment efficaces pour véritablement manipuler cette superposition. », confirme Hugues Pothier. Depuis, le groupe Quantronique poursuit une recherche à la fois fondamentale et appliquée autour des circuits supraconducteurs, pour, d'un côté, mieux comprendre des phénomènes encore mal maîtrisés comme la dissipation d'énergie dans ces circuits, de l'autre, développer des dispositifs de mesure inédits, comme un détecteur capable de compter les photons micro-ondes un par un. Ces photons, dix-mille fois moins énergétiques que les photons visibles, sont bien plus difficiles à détecter individuellement.

Ce détecteur a ouvert une piste de recherche inattendue : la détection de spins électroniques uniques dans la matière, avec des applications potentielles en chimie et en biologie pour sonder la structure de molécules à l'échelle atomique. Le spin d'une particule quantique est semblable à une boussole qui ne s'oriente que dans certaines directions. Le spin des électrons étant sensible à celui des noyaux atomiques voisins, il « donne accès au spin nucléaire ». Une manière, pour le groupe, de boucler la boucle avec son histoire : le SPEC, fondé par Anatole Abragam, l'un des pères de la résonance magnétique nucléaire (RMN), s'apprête aujourd'hui à repousser cette technique grâce à la détection de spin nucléaire unique, là où la RMN nécessite des centaines de milliards de spins pour produire un signal.

Penser l'informatique quantique de demain

Si le groupe Quantronique explore la physique des circuits quantiques supraconducteurs et leurs applications, d'autres scientifiques de l'Université Paris-Saclay s'intéressent aux manières d'exploiter les nouvelles ressources offertes par l'ordinateur quantique. C'est le cas de Pablo Arrighi, chercheur du Centre Inria de l'Université Paris-Saclay et responsable de l'équipe-projet QuaCS (Quantum computation structures) au sein du Laboratoire méthodes formelles (LMF - Univ. Paris-Saclay/ENS Paris-Saclay/Inria/CentraleSupélec/CNRS).

Dans ses recherches, l'informaticien s'intéresse aux modèles de simulation quantique basés sur les automates cellulaires quantiques. L'idée de la simulation quantique remonte à l'exposé « Simulating Physics with Computers » présenté en 1981 par Richard Feynman au Massachusetts Institute of Technology (MIT). Le point de départ de cette réflexion

est un problème que Pablo Arrighi aime illustrer par l'exemple suivant : « Imaginons que je veuille simuler un système d'atomes en interaction. Je connais les équations de la mécanique quantique qui décrivent mon système, il ne me reste plus qu'à les programmer sur mon ordinateur. Et pourtant, il faudrait attendre des mois pour que l'ordinateur finisse son calcul ! »

La raison vient du nombre de paramètres nécessaires pour décrire un système quantique : à mesure que le nombre de particules augmente, les ressources nécessaires pour représenter son état croissent exponentiellement. Richard Feynman propose alors de changer de perspective : plutôt que d'essayer de reproduire un système quantique par un calcul classique, il suggère d'utiliser un autre système quantique pour le simuler directement. Pablo Arrighi l'illustre de la façon suivante : « pour étudier l'aérodynamisme d'un avion, on peut calculer l'effet des molécules d'air qui percutent le fuselage, mais on peut aussi construire une maquette, y coller des petits bouts de ficelle, la mettre en soufflerie et mesurer ce qu'il se passe. »

Dans ses recherches, Pablo Arrighi développe des modèles de simulation et de calcul quantique. Pour comprendre ses travaux, il faut cependant revenir sur la notion d'automate cellulaire. « Le principe est de découper l'espace en petites cellules élémentaires, disposées côte à côte sous forme de ligne ou de grille, et de leur assigner un état, comme par exemple 0 ou 1. ». Afin de faire évoluer la grille, il applique simultanément une règle locale à chaque cellule de la grille : « Pour une cellule donnée, on regarde l'état de ses plus proches voisins et, en fonction de cela, on décide quel va être l'état de la cellule au prochain pas de temps. » En répétant cette opération, il fait émerger un comportement complexe à l'échelle de toute la grille.

Cette méthode rejoint celle de la simulation numérique. « En physique et dans bien d'autres domaines, on décrit souvent des phénomènes à l'aide d'équations aux dérivées partielles. De façon générale, ces équations décrivent l'évolution d'une quantité en fonction des variables du système. Mais dans la plupart des cas, on n'arrive pas à les résoudre analytiquement. Que fait-on donc ? On discrétise le problème pour le traiter sur un ordinateur », détaille le chercheur. Découper le temps et l'espace en petits intervalles aide à remplacer une équation insoluble par une suite d'opérations simples que l'ordinateur exécute pas à pas : c'est le principe d'un schéma numérique. Ainsi, « on arrive à une forme d'automates cellulaires ».

Il est possible de pousser cette stratégie encore plus loin et Pablo Arrighi cherche à l'appliquer à la mécanique quantique, en particulier à l'électrodynamique quantique, la théorie décrivant les interactions entre particules chargées et lumière. L'objectif est de retrouver, à partir de règles locales, les comportements dépeints par cette théorie. « Demain, on aura des ordinateurs quantiques et on voudra simuler des électrons ou des photons pour faire des prédictions en chimie quantique, par exemple, et pour ça, il faudra des algorithmes de simulation quantique capables de reproduire fidèlement la physique en jeu. »

Piloter un système quantique

Mais avant cela, il s'agit de résoudre un autre problème inhérent aux systèmes quantiques : leur extrême fragilité et sensibilité à l'environnement (bruit, température, champs électromagnétiques, mesures...). Afin d'exploiter et de préserver leurs propriétés quantiques, des chercheurs et chercheuses du Laboratoire des signaux et systèmes (L2S - Univ. Paris-Saclay/CentraleSupélec/CNRS) tentent de leur appliquer la théorie du contrôle. Il s'agit d'étudier la dynamique du système et la manière dont on peut agir sur son évolution. « On construit un observateur, une simulation du système qui va copier sa dynamique à partir des observations faites et des informations recueillies », explique Dario Prandi, chercheur au L2S. On a alors la possibilité d'estimer l'état du système et de déterminer quelle action effectuer.

Mais le passage au monde quantique complique considérablement les choses. « Une mesure quantique ne se contente pas de fournir des informations sur le système : elle intervient également dans son évolution », explique Nina Amini, spécialiste de la théorie du contrôle des systèmes quantiques et chercheuse au L2S. Les

S'affranchir de la complexité des systèmes quantiques

Une autre difficulté du contrôle quantique réside dans la complexité des modèles nécessaires pour décrire l'évolution des systèmes. À mesure que leur taille augmente, les calculs deviennent rapidement trop lourds pour suivre leur dynamique dans tous ses détails. L'un des enjeux pour l'équipe consiste à élaborer des descriptions mathématiques simplifiées, capables de conserver les propriétés essentielles à leur contrôle. Plutôt que de travailler sur le système dans toute sa complexité, « on cherche à trouver des sous-systèmes plus petits qui gardent certaines propriétés importantes du système initial », explique Paolo Mason, également chercheur au L2S.

Cette démarche permet de réduire la complexité des calculs tout en préservant les informations essentielles pour étudier et contrôler l'évolution du système. En construisant des modèles plus simples, mais suffisamment précis pour décrire les comportements qui les intéressent, les scientifiques cherchent ainsi à rendre le contrôle de systèmes quantiques complexes plus accessible.

« Demain, on aura des ordinateurs quantiques et on voudra simuler des électrons ou des photons pour faire des prédictions en chimie quantique, par exemple, et pour ça, il faudra des algorithmes de simulation quantique capables de reproduire fidèlement la physique en jeu. »

— Pablo Arrighi

résultats des mesures sont en outre intrinsèquement aléatoires, ce qui complique l'estimation de l'état du système. À cela s'ajoute l'influence de l'environnement. N'étant jamais parfaitement isolé, un système quantique interagit avec ce qui l'entoure, ce qui peut provoquer une perte des propriétés quantiques que l'on cherche justement à préserver.

Pour piloter un tel système, les scientifiques s'appuient, par exemple, sur des protocoles de mesures indirectes. Cela consiste à faire interagir le système quantique étudié avec un second système intermédiaire, puis à mesurer uniquement ce dernier. Les informations recueillies renseignent sur l'état du premier système, tout en tenant compte des effets de la mesure sur son évolution. Lorsque les mesures se succèdent au cours du temps, l'évolution de l'état du système, conditionnée par les résultats, est décrite par ce qu'on appelle une trajectoire quantique. Grâce à des outils mathématiques, les scientifiques actualisent leur estimation de cet état au fil des observations, et ont ainsi la possibilité de déterminer les actions à appliquer pour l'orienter vers un état souhaité. Cette boucle de rétroaction permet, par exemple, de stabiliser l'état d'un qubit.

De l'expérience de pensée de Schrödinger aux circuits supraconducteurs du prix Nobel de physique 2025, les chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay poussent toujours plus loin les frontières de la physique quantique. Au fil de leurs expériences, elles et ils trouvent un chemin pour faire aboutir des idées longtemps restées hors de portée, et qui sont autant d'avancées dans un champ de recherche aussi immense que fascinant. **S.B.**

Références

- J. M. Martinis, M. H. Devoret, J. Clarke, Energy-Level Quantization in the Zero Voltage State of a Current-Biased Josephson Junction, *Physical Review Letters*, 1985.
- M. H. Devoret, J. M. Martinis, J. Clarke, Measurement of Macroscopic Quantum Tunneling out of a Zero-Voltage State of a Current-Biased Josephson Junction, *Physical Review Letters*, 1985.
- N. Eon et al., A Relativistic Discrete Spacetime Formulation of 3+1 QED, *Quantum*, 2023.
- Z. Wang et al., Single-electron spin resonance detection by microwave photon counting, *Nature*, 2023.
- N. H. Amini et al., Feedback Stabilization Via a Quantum Projection Filter, *SIAM Journal on Control and Optimization*, 2025.

Agir face aux risques climatiques

Ces start-up qui développent des solutions pour mieux anticiper et s'adapter

Inondations, canicules, sécheresses... Alors que les effets du changement climatique se manifestent de plus en plus, il est désormais nécessaire d'apprendre à composer avec eux. Pour mieux anticiper, s'adapter et protéger les territoires comme les activités humaines, des start-up issues des laboratoires de l'écosystème de l'Université Paris-Saclay développent des solutions concrètes à destination des acteurs et actrices économiques et publics.

TheCLIMATEStandards

Adapter les infrastructures au climat de demain

Au-delà de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, l'adaptation apparaît aujourd'hui comme le deuxième pilier majeur de la réponse au changement climatique et à ses conséquences. « 90 % des désastres dans le monde sont aujourd'hui attribués au changement climatique. Cela représente environ 300 événements par an », explique Damien Serre, enseignant-chercheur associé au laboratoire Cultures, environnements, Arctique, représentations, climat (CEARC – UVSQ), et cofondateur de la start-up TheCLIMATEStandards.

Née en juin 2025 et s'appuyant sur vingt ans de recherche dans le domaine, cette start-up travaille sur l'adaptation au changement climatique des infrastructures de génie civil, tels que les réseaux de transport, d'énergie, de télécommunications et d'eau. Ces infrastructures sont en effet particulièrement vulnérables aux événements climatiques, qu'il s'agisse de

vagues de chaleur, de sécheresses, d'inondations, de tempêtes ou encore de mouvements de terrain. Depuis quelques années, « il y a un balbutiement de réaction au niveau des gestionnaires d'infrastructures », constate Damien Serre. « Certains transforment leur cellule de risques afin d'intégrer l'adaptation au changement climatique, ce qui montre que les enjeux commencent à être pris en compte dans les réflexions. » C'est précisément sur ce volet que l'enseignant-chercheur et Angel Paterna-Hidalgo, cofondateur de TheCLIMATEStandards, choisissent de se positionner.

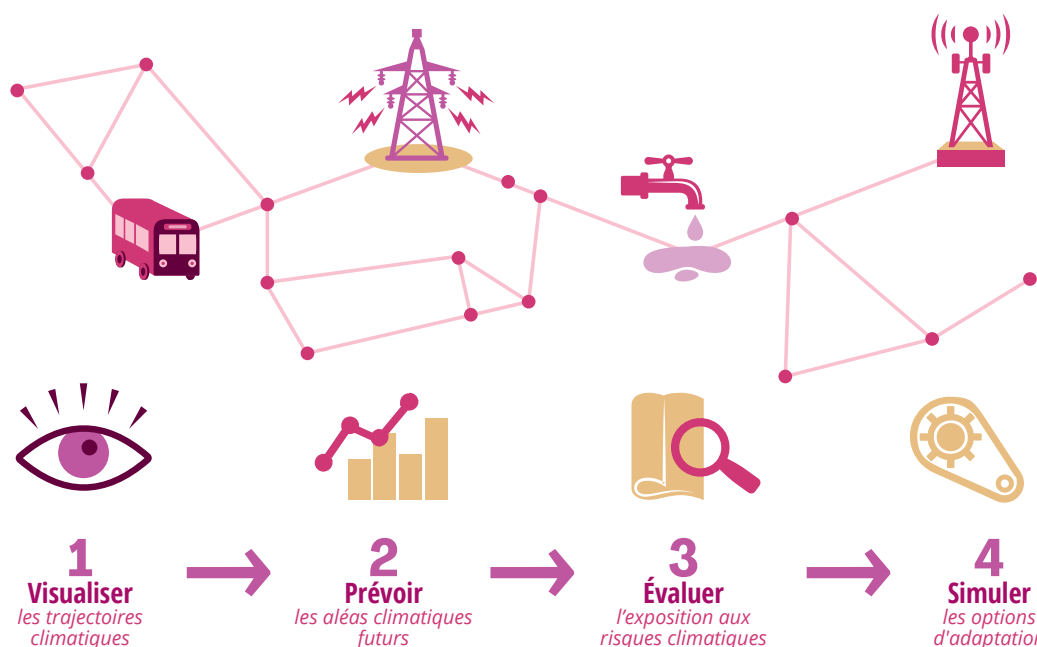
Anticiper la sensibilité des infrastructures

Dans le cadre de ses recherches, Damien Serre a travaillé avec plus d'une quarantaine de gestionnaires d'infrastructures critiques en Europe. Ces collaborations l'ont conduit à développer une

connaissance approfondie des problématiques rencontrées par ces gestionnaires et à travailler avec eux sur différentes solutions. Il y a deux ans, l'enseignant-chercheur décide d'aller plus loin et de développer une solution concrète, opérationnelle et industrialisable. Cette solution réside dans une plateforme SaaS (en anglais, *Software as a service*), un service accessible directement via un navigateur Internet, sans aucune installation locale.

Cette plateforme donne la possibilité de transformer les projections climatiques aux horizons 2050 et 2100 en aléas climatiques : sécheresses, inondations, tempêtes, etc. Ces projections sont ensuite croisées avec les fragilités des infrastructures des clientes et clients, en s'appuyant notamment sur leur historique d'incidents, afin d'anticiper leur sensibilité future au changement climatique. « Par exemple, nous avons beaucoup travaillé avec le réseau de la RATP », illustre le spécialiste. « Cela a consisté à regarder comment le réseau a été sensible par le passé et quels incidents ont été rencontrés, puis à croiser ces données avec nos projections d'aléas climatiques futurs pour déterminer comment les infrastructures vont être sensibles au changement climatique. »

La plateforme offre également la possibilité de simuler des stratégies d'adaptation avant d'investir et d'en mesurer les bénéfices : amélioration de la performance des infrastructures, réduction des risques et des impacts sur les usagers et sur les territoires, prolongation du cycle de vie des infrastructures, etc. Elle aide aussi à identifier les priorités d'action, notamment sur de grands réseaux. « La question qui se pose encore souvent est : par où commence-t-on lorsque l'on a des kilomètres d'infrastructures à gérer ? », précise le cofondateur de TheCLIMATEStandards. Enfin, la plateforme rapproche la stratégie d'adaptation de la stratégie de maintenance, en intégrant progressivement les opérations d'adaptation dans la maintenance courante pour préparer les infrastructures aux échéances 2050 et 2100.

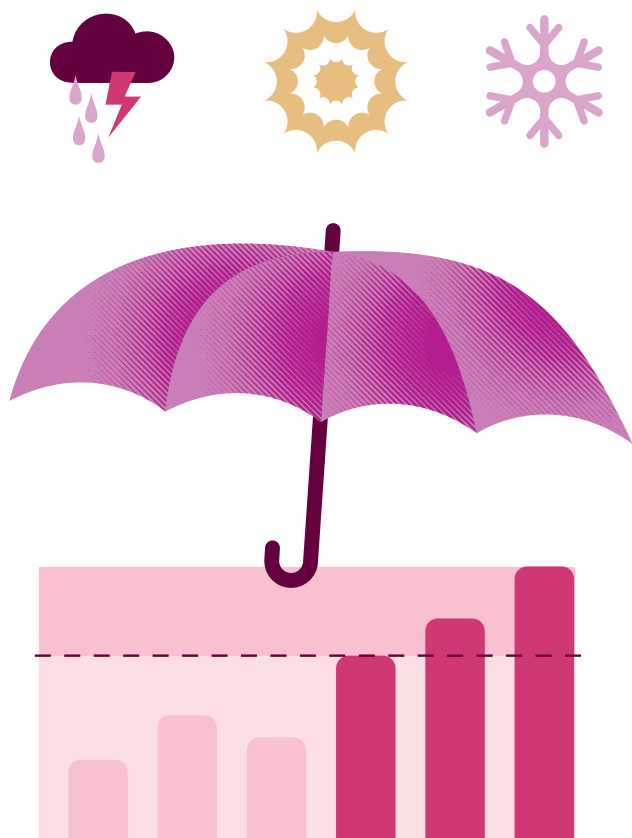


Un réseau bien établi

« Quand on est chercheur ou chercheuse et qu'on passe à entrepreneur ou entrepreneuse, on a tout à réapprendre », témoigne Damien Serre. Pour l'enseignant-chercheur et son équipe, c'est une rencontre réalisée en juillet 2025 avec l'incubateur public de la recherche IncubAlliance Paris-Saclay qui fait office de point de départ. Après avoir rejoint leur programme de pré-incubation, Genesis Lab, l'équipe est désormais passée à la phase d'incubation, durant laquelle l'incubateur les accompagne sur l'ensemble des aspects liés à la création d'entreprise et à son développement.

Au fil de son processus de création, la start-up s'est également créée un vivier de partenaires sur le plateau de Saclay. Un lien que Damien Serre et ses collègues veulent entretenir : « Nous sommes en train d'étudier des pistes de collaboration avec d'autres laboratoires comme le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE – UVSQ/CEA/CNRS). Nous avons aussi un réseau d'industriels qui est présent et très favorable à considérer de potentielles collaborations. » La start-up finalise actuellement son équipe et espère d'ici trois ans réussir à accompagner une trentaine de clients. Parmi leurs premiers clients, figurent des acteurs des domaines de l'eau et des infrastructures littorales.

<https://theclimatestandards.com/fr/>



Sereno

Mesurer et anticiper les risques climatiques pour mieux protéger

Transformer la météo en donnée, c'est ce que François Mercier-Tigrine, ancien doctorant au sein du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (Latmos – UVSQ/CNRS/Sorbonne Université), réalise aujourd'hui avec Sereno. Cette jeune entreprise, dont il est cofondateur et directeur scientifique, utilise des données météorologiques pour mesurer et anticiper les risques climatiques. Elle aide ensuite des entreprises et des assureurs à s'en protéger par l'intermédiaire d'alertes et surtout d'assurances spécifiques.

À l'origine de Sereno, se trouvent les recherches menées par François Mercier-Tigrine durant son doctorat au sein du Latmos. « Le projet sur lequel j'ai travaillé pendant ma thèse part de l'idée de mesurer la pluie grâce à l'atténuation des signaux provenant de satellites de télévision et captés avec des paraboles », détaille-t-il. « Lorsqu'il pleut, une partie du signal émis par les satellites est absorbée par la pluie. En mesurant la perte de signal, on a alors la possibilité de déduire la quantité de pluie. »

Un peu plus d'un an après, en 2018, François Mercier-Tigrine lance, avec son collègue Ruben Hallali, la start-up HD Rain, avec l'idée d'installer des capteurs, des paraboles et de petits boîtiers électroniques afin de mesurer la puissance du signal. « L'objectif était de produire des cartes de pluie, des prévisions et des alertes, principalement à partir de ces capteurs. » Petit à petit, le volet assurance se développe et la start-up propose la certification de données pour l'assurance paramétrique.

Une assurance basée sur des indicateurs

L'assurance paramétrique consiste à baser le contrat d'assurance non plus sur un sinistre et son évaluation par un expert ou une expertise, mais sur le franchissement d'un seuil défini à l'avance à partir d'un indice. « Par exemple, si un viticulteur ou une viticultrice souscrit une assurance traditionnelle, l'évaluation vise à constater les dégâts et déterminer le pourcentage de récolte détruit par le gel », explique François Mercier-Tigrine. « Dans le cadre d'une assurance paramétrique, le contrat prévoit à l'avance des conditions précises : si une station météo enregistre des températures inférieures à -1°C, l'assuré reçoit une certaine indemnisation ; en dessous de -2°C, l'indemnisation est plus importante. » Ainsi conçue, l'assurance paramétrique apporte une réponse à l'évolution des risques climatiques et aux limites de l'assurance traditionnelle.

En partant de cette idée, la start-up commence à intervenir comme tiers de confiance, c'est-à-dire comme l'acteur qui fournit et certifie les données entre l'assureur et l'assuré. « Au départ, nous faisons cela à partir de nos propres données

et capteurs, mais nous avons progressivement travaillé sur toutes sortes de données : des capteurs de Météo-France, des produits satellitaires en Afrique, etc. Cela a constitué un pivot progressif pour l'entreprise à partir de 2023-2024 », révèle l'ancien chercheur.

L'entreprise évolue alors une nouvelle fois. HD Rain laisse place à Sereno qui va plus loin en fabriquant directement des produits d'assurance paramétrique liés aux conditions météorologiques. Il ne s'agit donc plus seulement de certifier les données, mais de concevoir les produits.

Mieux couvrir les risques climatiques

En pratique, l'activité de Sereno consiste à rencontrer des courtières et courtiers qui leur présentent des clientes et clients, leurs problèmes, leurs données ainsi que leur historique de sinistres. L'entreprise utilise alors son expertise pour déterminer quelles sont les données météorologiques à mettre en regard de ces sinistres. « Par exemple, nous déterminons que, pour un client donné, l'indicateur qui caractérisera le mieux son risque sera la pluie moyenne au cours du mois d'octobre. Nous construisons ensuite un indice et proposons un produit. Nous calculons également le prix du produit, en fonction de la probabilité que l'événement se produise », explique le cofondateur. L'assurance paramétrique répond ainsi à un double enjeu : mieux couvrir des risques climatiques de plus en plus importants, tout en proposant une indemnisation plus simple et directement liée à des données mesurables.

La dernière étape consiste à trouver un assureur pour prendre en charge le risque financier. Dans le secteur de l'assurance, « répondre à l'évolution des risques climatiques est devenu un véritable sujet. Il n'est plus nécessaire de convaincre un assureur. C'est la même chose pour les communes. Elles constatent de plus en plus les conséquences des événements climatiques et sont donc convaincues qu'il est nécessaire de les prendre en compte », appuie François Mercier-Tigrine. Aujourd'hui, Sereno compte d'ailleurs plusieurs municipalités, dont celles de Toulon, Montpellier et Sanary-sur-Mer, parmi ses clients publics. Elle travaille également avec des assureurs comme AXA Climate, Arisk, Descartes Underwriting et African Risk Capacity. **C.A.**

<https://sereno.insure.fr>

Goût, saveurs et sensations

Comprendre les mécanismes en jeu pour faire évoluer les pratiques

Le craquant d'un carré de chocolat, l'arôme du pain chaud, le goût intense ou réconfortant d'un plat en sauce... Ou au contraire l'amertume d'une endive ou la sécheresse d'un vin trop jeune. Le goût est un sens qui capture l'imagination et réveille des souvenirs. C'est aussi une thématique de recherche active au sein de l'Université Paris Saclay, où des chercheurs et des chercheuses associent chimie, biologie, science du consommateur et même entomologie pour comprendre les mécanismes physiologiques de ce sens et les variations de perception entre individus.

Mots-clefs

Flaveur

Sensibilité trigéminal

Amertume

Astringence

Consommation

Le goût est probablement l'un des cinq sens de l'être humain les plus complexes à décrire : « *Ce que le grand public appelle goût correspond en termes scientifiques au concept de flaveur qui associe gustation, olfaction et sensibilité trigéminal* », explique Alix Rollinat, chercheuse au sein du laboratoire Paris-Saclay Food and Bioproduct Engineering (SayFood - Univ. Paris-Saclay/INRAE/AgroParisTech). Au sens scientifique, le goût désigne uniquement le message perçu par les papilles gustatives. Il se compose de cinq saveurs fondamentales : le salé, le sucré, l'amer, l'acide et l'umami, une saveur plus méconnue que l'on retrouve dans de nombreuses viandes, la sauce soja, les tomates séchées ou encore le parmesan. La perception d'un aliment ne se limite toutefois pas à ces cinq saveurs. L'odorat joue également un rôle primordial, grâce aux arômes (voir l'article Recherche paru dans *L'Édition* n°25). Enfin, la dernière composante de la flaveur, la sensibilité trigéminal, correspond à la capacité à détecter les textures, le pétillant d'une boisson, la fraîcheur de la menthe ou l'astringence d'un vin.

« Ce que le grand public appelle goût correspond en termes scientifiques au concept de flaveur qui associe gustation, olfaction et sensibilité trigéminal. » — Alix Rollinat

Ces différentes perceptions sont liées à des composés chimiques et sollicitent des systèmes sensoriels distincts. Le goût repose sur la liaison entre une molécule et un récepteur situé à la surface d'une cellule sensorielle d'une papille gustative. Cette liaison déclenche des signaux en cascade, comme l'ouverture d'un canal ionique dans la membrane de la cellule, avec pour conséquence un changement de potentiel électrique transmembranaire. Ce signal est ensuite amplifié et active le système nerveux central de l'organisme. Les sensations trigéminales, quant à elles, sont détectées et transmises au cerveau

par le nerf trijumeau. Ces modalités sensorielles sont alors intégrées pour fournir l'appréciation complète d'un aliment.

L'amertume comme marqueur de la toxicité ?

Mais à quoi sert le goût ? Pour Frédéric Marion-Poll, professeur émérite associé au laboratoire Évolution, génomes, comportement, écologie (EGCE - Univ. Paris Saclay/AgroParisTech/CNRS/IRD), la fonction initiale du système gustatif est de « *juger la qualité potentielle d'un aliment* ». Cela ne s'applique pas qu'aux êtres humains mais aussi aux insectes, qui sont au centre des recherches menées par le scientifique. Celui-ci étudie plus particulièrement la saveur amère que les insectes évitent, probablement parce qu'elle est associée à des composés toxiques. L'objectif est de développer des méthodes innovantes de protection des cultures. « *L'association de substances au goût désagréable pour les insectes diminue la dose d'insecticide nécessaire pour protéger une surface cultivée* », précise Frédéric Marion-Poll.

L'origine du lien entre amertume et toxicité serait d'ordre aposématique. Ce terme désigne l'aptitude d'un organisme à avertir ses prédateurs de sa toxicité à l'aide d'un signal fort. Il s'agit souvent d'une couleur vive, comme chez les grenouilles vénéneuses, ou bien d'une odeur, d'un son, d'une saveur, en l'occurrence l'amertume. Comme l'explique le spécialiste : quand il ingère une substance amère et toxique, « *le prédateur associe cette saveur à une expérience malencontreuse et mémorise ce signal comme désignant une substance à éviter* ». Si d'autres espèces non toxiques développent également un goût amer, cette sélection par les prédateurs leur confère un avantage reproductif. Ainsi, bien que les plantes au goût amer ne soient pas toutes toxiques, les insectes ont tendance à les éviter.

Pour explorer cette relation entre saveur et interprétation de la qualité nutritionnelle d'un aliment, Frédéric Marion-Poll s'intéresse aux mécanismes de perception des molécules toxiques chez les mouches drosophiles. Cet insecte est régulièrement utilisé pour des expériences, et la communauté scientifique a développé

de nombreux outils génétiques qui rendent possibles une multitude de manipulations. Dans une expérience, l'équipe du professeur émérite a désactivé chez ces mouches les récepteurs des cellules sensorielles de l'amertume, puis exposé de manière successive les insectes à différentes préparations contenant ou non des substances amères et toxiques. La première de ces préparations, composée exclusivement de sucre, a remporté un franc succès auprès des insectes. La deuxième préparation était un mélange de sucre et de L-canavanine (un acide aminé présent dans différentes plantes, telles que les légumineuses). Les mouches, incapables de percevoir le goût amer, ont également réagi positivement. En revanche, avec la troisième préparation - un mélange de sucre et de strychnine (un alcaloïde toxique pour les mammifères) -, les drosophiles ont réagi bien plus faiblement que précédemment, indiquant leur capacité à éviter la strychnine même sans percevoir son amertume.

En analysant l'activité des neurones sensibles au sucre, les scientifiques ont constaté que ceux-ci ne répondent plus au sucre de manière proportionnelle à la dose. Cela signifie que « *certaines substances amères comme la strychnine ont la capacité d'inhiber les récepteurs de sucre* », interprète Frédéric Marion-Poll. Ce double effet, activation des récepteurs de l'amertume et inhibition des récepteurs de la sucrosité, renforce le réflexe d'évitement de ces substances, même quand elles sont intégrées dans un mélange.

Une influence génétique sur la perception de l'amertume

Une autre source de complexité dans l'analyse de l'association entre toxicité et amertume repose sur la diversité génétique au sein d'une espèce. Là encore, l'équipe de Frédéric Marion-Poll a tiré parti des outils développés pour les drosophiles, en utilisant des lignées de mouches dont les ancêtres et le génome sont parfaitement connus, afin d'établir des corrélations avec les phénotypes - les comportements - observés. Les scientifiques ont exposé les mouches à des solutions à base de sucre, de sucre et de L-canavanine, ou de sucre et de caféine, qui est amère mais peu toxique à faible dose pour les drosophiles. L'équipe a

alors observé différents types de comportements selon les lignées de mouches. Certaines ont goûté les préparations amères une seule fois et n'y ont plus touché, suggérant qu'elles ont détecté les substances amères. D'autres n'ont pas fait la différence entre les solutions. D'autres enfin ont semblé tolérer initialement les composés amers puis développé une aversion pour la L-canavanine. « *Cela suggère qu'il y a une réaction post-ingestive liée à l'intoxication.* » Cette expérimentation, en cours d'analyse, souligne les différences de comportement des insectes, qui semblent liées à des traits acquis de génération en génération.

Afin d'étudier plus amplement cette variabilité génétique, les scientifiques collaborent avec d'autres spécialistes dans le but de développer de nouvelles techniques expérimentales, utilisant des systèmes automatisés capables de déposer les gouttes de solutions et mesurer les volumes consommés. « *L'écosystème de l'Université Paris-Saclay est un endroit rêvé pour développer des collaborations interdisciplinaires* », relève Frédéric Marion-Poll. « *En partenariat avec des élèves ingénieurs du plateau, des spécialistes en physique et en optique, nous aurions la possibilité de mettre au point des tests à haut débit encore plus performants.* »

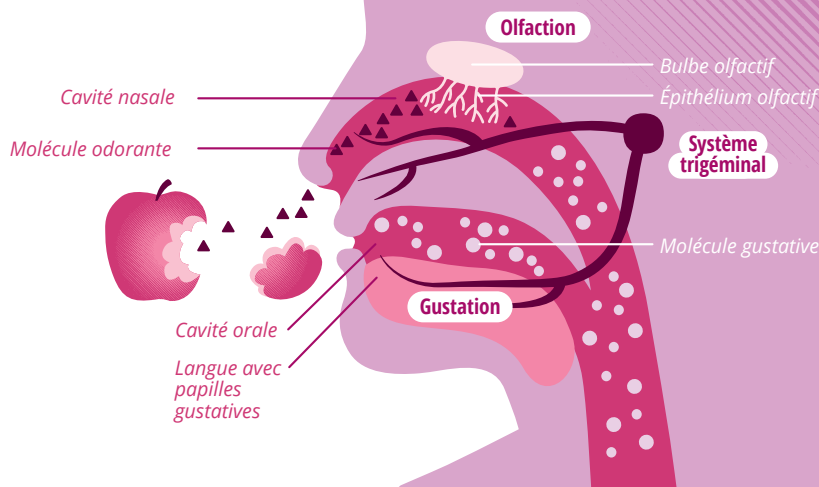
La diversité d'attitudes alimentaires au sein d'une espèce remet en question l'approche traditionnelle de modélisation du comportement qui repose sur un insecte moyen. Elle suggère aussi que l'incorporation de composés amers dans des insecticides aiderait à les utiliser de manière plus parcimonieuse, en empêchant ou en limitant l'apparition d'insectes résistants et en protégeant les insectes utiles. Le professeur émérite compte sur les nouveaux dispositifs expérimentaux pour apporter prochainement un nouvel éclairage.

Le mécanisme méconnu de l'astringence

Chez les êtres humains, l'amertume est souvent associée à une autre sensation désagréable : l'astringence. Il s'agit du domaine d'étude d'Alix Rollinat, jeune enseignante-chercheuse à AgroParisTech et membre du laboratoire SayFood. Après un master en œnologie, elle décide d'approfondir ses connaissances sur cette sensation que l'on retrouve souvent dans le vin rouge, en poursuivant avec une thèse au Centre des sciences du goût et de l'alimentation situé à Dijon. L'astringence s'apparente à « *une sensation de sécheresse au niveau du palais, de la langue et des gencives, l'impression de ne plus avoir de salive en bouche* », décrit la scientifique. Si elle est souvent confondue avec l'amertume, l'astringence n'est pas une saveur mais une sensation trigéminal, la troisième grande composante de la flaveur.

Alix Rollinat souhaite comprendre les mécanismes à l'origine de cette sensation : « *J'étais interloquée par l'idée qu'on ne sait pas expliquer une sensation que l'on perçoit pourtant tous et toutes !* » Bien que les mécanismes soient encore obscurs, les composés responsables de l'astringence sont connus. Ils appartiennent en majeure partie à la famille des composés

LA FLAVEUR ET SES COMPOSANTES



phénoliques, des molécules caractérisées par un cycle aromatique (un cercle de six atomes de carbone) et un groupe hydroxyle (OH). Il existe une multitude de composés phénoliques différents. Or, selon le type de molécules, les liaisons avec les protéines présentes dans la cavité orale varient, de même que la sensation et l'intensité perçues.

Plusieurs pistes sont envisagées pour expliquer cette sensation. La première est que les composés phénoliques causent la précipitation de protéines présentes dans la fine pellicule de la muqueuse qui protège les cellules épithéliales. Cela modifie la lubrification de la cavité orale en augmentant les forces de friction, ce que le cerveau interprète comme une sensation de sécheresse. L'autre hypothèse propose que l'interaction des composés phénoliques avec la pellicule muqueuse engendre le clivage d'une protéine intégrée à la membrane des cellules épithéliales, ce qui déclenche des cascades de signalisation jusqu'au nerf trijumeau. D'après l'enseignante-chercheuse, « *il y a une part de vrai dans les deux hypothèses, aucune ne suffit à elle-seule à expliquer les phénomènes que nous observons* ».

Une question se pose alors : l'astringence est-elle perçue de la même manière par tous les individus ? Afin d'y répondre, Alix Rollinat a développé au cours de son doctorat, un protocole de mesure du seuil de perception de l'astringence, en adaptant le processus *Best estimate threshold* (BET). L'expérience se compose de huit manches, au cours desquelles les participantes et participants doivent goûter trois préparations différentes. Deux gobelets ne contiennent que de l'eau, le troisième contient un composé astringent, dont la concentration augmente à chaque manche. Les volontaires doivent identifier le gobelet contenant le composé et noter l'intensité de l'astringence perçue sur une échelle de 0 à 10.

L'analyse des intensités perçues en fonction de la concentration réelle met en évidence « *une courbe en S* », décrit Alix Rollinat. « *Il y a tout d'abord un plateau qui*

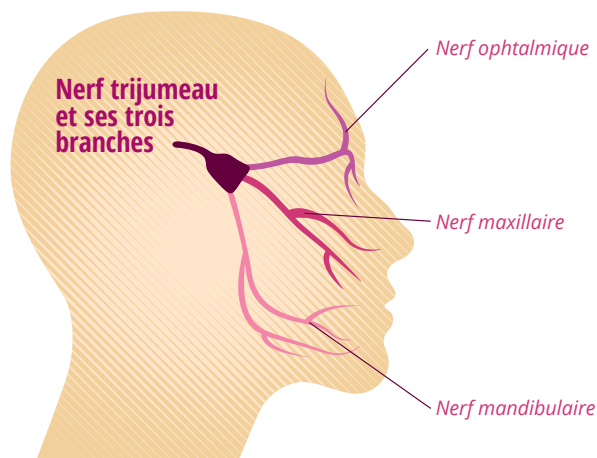
correspond au bruit de fond, puis une fois passé le seuil de perception, l'intensité perçue augmente de manière plus ou moins forte avec la concentration, avant d'arriver à un deuxième plateau qui traduit un effet de saturation. » Cette configuration en S est commune aux deux cents volontaires, mais avec des seuils de détection et de saturation variés. Pour expliquer cette diversité, des analyses supplémentaires ont été menées sur des sujets dits « extrêmes », c'est-à-dire avec des seuils de détection très faibles ou très élevés. Ni les habitudes alimentaires, notamment la consommation régulière de produits astringents, ni le flux salivaire n'expliquent ces variations de seuil, mais certains aspects de la sensibilité tactile de la langue apparaissent comme des pistes intéressantes.

Des interactions complexes entre arôme et astringence

Pour aller plus loin, Alix Rollinat s'intéresse à la population présentant des seuils de perception « intermédiaires », en considérant les variations de perception selon différents types de composés astringents, mais aussi en creusant les interactions entre arôme et astringence. « *Comment une sensation astringente modifie-t-elle la perception aromatique d'un aliment ?* », questionne l'enseignante-chercheuse, en citant l'exemple du vin qui gagne en complexité aromatique lorsqu'on y ajoute des composés astringents. « *Et en miroir de cela, comment un arôme modifie-t-il la perception de l'astringence ?* »

Des études menées par d'autres équipes ont démontré que l'ajout de sucre diminue la sensation d'astringence. Toutefois, la quantité nécessaire s'avère très importante : il faut 171,15 grammes par litre de sucre pour diminuer la sensation d'astringence de l'équivalent d'un gramme par litre d'acide tannique, un composé phénolique. L'ajout d'arômes à connotation sucrée, comme celui de banane, divise par trois la quantité de sucre nécessaire pour obtenir le même résultat.

Ces interactions entre arôme et astringence sont encore peu explorées mais elles présentent des pistes



Pétillant



Astringence



Fraîcheur



Piquant

LE SYSTÈME TRIGÉMINAL ET SES SENSATIONS

attrayantes, notamment pour encourager la consommation de protéines végétales ou de produits fermentés (voir l'article Recherche paru dans *L'Édition* n° 26). Cette problématique est au cœur des travaux d'une autre chercheuse du laboratoire SayFood, Valérie Guénard Lampron, qui travaille à la croisée de la science des aliments et de la science du consommateur : « *Il s'agit d'identifier les freins à l'adoption de ces aliments, qu'ils soient sensoriels ou comportementaux, et de proposer des leviers pour les contrer.* »

Comprendre les goûts pour modifier les habitudes

Les produits fermentés ou à base de protéines végétales ont pour point commun de présenter à la fois des profils nutritionnels particulièrement intéressants, en termes de fibres, de protéines ou de probiotiques par exemple, et un fort intérêt agronomique : captage de l'azote, rotation des cultures, diminution des besoins d'engrais et d'irrigation, etc. Toutefois, leur adoption rencontre plusieurs obstacles. Parmi eux, figurent des aspects sensoriels liés à des textures et des goûts perçus comme désagréables, tels que des notes végétales trop prononcées, de l'amertume, un goût terreux ou de l'astringence. L'absence de connaissance sur les techniques de préparation de ces aliments empêche également leur intégration dans l'alimentation du plus grand nombre.

Le recours à des panels de consommateurs et consommatrices est une technique utile pour comprendre les réactions face à ces produits peu répandus dans les assiettes. À l'aide d'échelles de notation, les scientifiques évaluent la sensibilité générale du public à un produit et caractérisent des groupes de consommateurs et consommatrices cibles. Cette approche, avec des volontaires du grand public peu guidés, est complétée par des panels d'expertes et experts, entraînés à établir le profil sensoriel d'un aliment, en identifiant précisément les aspects plaisants ou aversifs. Dans les deux cas, les ingrédients sont préparés de manière classique ou à l'aide d'une imprimante 3D alimentaire. « *C'est un outil très pratique* », confirme Valérie Guénard Lampron. « *On fait varier la texture des aliments, le nombre de couches ou encore la viscosité, moyennant quelques challenges techniques. Avec l'imprimante 3D, on obtient des échantillons parfaitement similaires, avec un processus reproductible et maîtrisé.* » Afin de proposer des leviers pour contrer les réticences, l'équipe de Valérie Guénard Lampron expérimente au laboratoire différentes techniques de préparation et de cuisson, en considérant toutes les étapes de la culture, de la transformation et de la consommation de l'aliment.

Alors que « *la France importe environ la moitié des légumineuses qu'elle consomme* », comme l'indique la chercheuse, un autre enjeu est d'en augmenter la production locale. Le projet Intégrale, porté par le consortium Qualiment dont fait partie le laboratoire SayFood, porte ainsi sur deux légumineuses, la féverole et la lentille, qui recèlent une forte diversité génétique. L'objectif du projet est d'identifier les meilleures variétés selon différents critères. « *On cherche un compromis entre adaptation au climat et au sol français, facilité de décorticage et de broyage et enfin qualités sensorielles et nutritionnelles.* » L'équipe de SayFood se concentre sur les caractéristiques des farines plus ou moins complètes issues de ces transformations, et recherche des usages pertinents et appétissants. Des entreprises agro-alimentaires participent également au consortium, avec pour but la formulation de nouveaux produits.

Le changement des habitudes alimentaires ne repose pas que sur l'amélioration du goût des légumineuses ou des produits fermentés, mais également sur le développement d'une nouvelle culture gastronomique. Dans le projet Pulse Fiction, financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR), les scientifiques de SayFood travaillent avec un chef cuisinier qui développe des recettes à partir d'ingrédients bruts. Des volontaires reproduisent ensuite les plats dans la cuisine mise à leur disposition au laboratoire, puis les dégustent. Cette cuisine expérimentale dispose d'équipements ordinaires mais facilite l'observation des testeurs et testeuses, pour identifier les points de blocage d'une recette et noter les retours. La démarche aide notamment à expérimenter de multiples techniques de préparation, comme l'illustre Valérie Guénard Lampron : « *Est-il plus acceptable pour un consommateur ou une consommatrice de mettre de la farine de haricot rouge dans un*

cake ou d'intégrer la légumineuse sous forme de purée ? Préférerait-il acheter la légumineuse déjà hydratée ou la préparer de A à Z, avec les longs temps de trempage et de cuisson, pour avoir la sensation de manger plus sain ? Cela représente-t-il un effort trop important ? Et quelle est la différence de perception sensorielle ? »

La restauration collective est également un terrain opportun pour aller à la rencontre du public, présenter de nouvelles recettes et faire connaître les enjeux de la transition alimentaire. En partenariat avec le Crous (Centre régional des œuvres universitaires et scolaires), des équipes des laboratoires SayFood, Paris-Saclay Applied Economics (PSAE – Univ. Paris-Saclay/INRAE/AgroParisTech) et Physiologie de la nutrition et du comportement alimentaire (PNCA – Univ. Paris-Saclay/AgroParisTech/INRAE) ont ouvert en 2025 un restaurant d'expérimentation sur le plateau de Saclay. Il s'agit d'observer en situation réelle le comportement et les choix d'individus représentatifs de la population française face à des aliments innovants, en identifiant les conditions et l'ampleur des changements que les convives sont prêts à accepter. Dans le projet Conso+FF, par exemple, « *on intègre la dimension culturelle de l'alimentation, en adaptant des recettes connues avec des aliments fermentés* », indique la chercheuse. La description des plats varie, pour identifier quels termes suscitent le plus d'intérêt. « *Faut-il plutôt mettre en avant la démarche écologique, les bienfaits pour la santé ou une description appétissante ?* »

En identifiant des groupes de consommateurs et consommatrices intéressés, et en proposant des produits innovants et appétissants, Valérie Guénard Lampron a bon espoir de modifier les pratiques. Comme Frédéric Marion-Poll espère, à travers ses recherches, trouver la recette pour tenir les insectes à distance. « *En fin de compte, on en revient toujours au goût* », conclut la chercheuse. **M.D.**

Références

A.S. French *et al.* Dual Mechanism for Bitter Avoidance in *Drosophila*, *The Journal of Neuroscience*, 2015.

Alix Rollinat, *Interactions astringence-arôme et variabilité interindividuelle de la sensibilité à l'astringence*, Biochimie, Biologie Moléculaire - Université Bourgogne Europe, 2026.

T. Toniazio *et al.*, Influence of starch-based gels on 3D food printing: Linking printability, texture, rheological properties, and sensory evaluation, *Future Foods*, 2025.

PFAS

La recherche en lutte contre les polluants éternels

Cela ne fait que quelques années que les substances per- et polyfluoroalkylées, ou PFAS, ont commencé à être au centre de l'attention. Pourtant, leurs effets sur la santé humaine sont documentés depuis des décennies. Omniprésentes dans l'environnement et les objets du quotidien, elles constituent désormais un vrai problème de santé publique. Dans les laboratoires de recherche de l'Université Paris-Saclay, le travail des scientifiques se poursuit pour comprendre le comportement de ces composés toxiques et pour identifier un moyen de les éliminer.

Dans le revêtement des poêles antiadhésives, dans les emballages alimentaires, dans les cosmétiques et même dans les protections périodiques... Les PFAS sont partout. Si les effets de ces molécules sur la santé humaine et l'environnement sont de plus en plus étudiés par les scientifiques et relayés par les médias, cela fait des décennies que les industriels emploient ces substances per- et polyfluoroalkylées (de l'anglais *per- and polyfluoroalkyl substances*, PFAS). Les propriétés des PFAS les rendent en effet très intéressants pour de nombreux produits : ils sont solubles dans l'eau, se dégradent peu, résistent à la chaleur... Mais leurs atouts sont aussi leurs défauts. Une fois dans l'environnement ou dans le corps humain, ils s'y propagent facilement et y persistent, ce qui leur vaut leur surnom de « polluants éternels ».

Les PFAS sont une famille de molécules synthétiques. Il en existe des millions de différentes, mais un point commun les unit : toutes ces molécules contiennent une chaîne d'atomes de carbone entourée d'atomes de fluor. C'est cette liaison entre le carbone et le fluor, très résistante, qui confère à ces composés leur durabilité. Les premiers PFAS sont développés à la fin des années 1930 par l'industrie chimique. Le premier d'entre eux, le PTFE (polytétrafluoroéthylène), plus connu sous le nom commercial de Téflon, est découvert accidentellement en 1938. En quelques décennies, le nombre de PFAS synthétisés se multiplie et leur usage se massifie dans les produits du quotidien, mais aussi pour des applications professionnelles.

Très vite, suite au développement de leur production, leur toxicité apparaît. L'industriel DuPont, producteur du Téflon et plusieurs fois condamné par la justice américaine pour ses relargages de PFAS dans l'environnement et l'eau potable, le note dès 1961 dans des études internes. « Cela fait plus de trente ans désormais que la recherche s'intéresse aux PFAS, mais beaucoup de mécanismes d'action sur l'organisme restent mal compris », indique Francesca Mancini, chargée de recherche au Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP - Univ. Paris-Saclay/UVSQ/Inserm) et qui étudie les impacts de ces substances sur la santé humaine.

« Les molécules les plus étudiées sont les PFAS historiques, le PFOS et le PFOA, utilisés des années 1940 à 1990 », poursuit la chercheuse. C'est d'ailleurs le PFOA (ou acide perfluorooctanoïque), qui sert à

l'élaboration du Téflon rejeté par les usines de DuPont. « Lorsque des effets sanitaires sont apparus, en particulier sur le système immunitaire, on a commencé à les substituer à partir des années 2000 pour les remplacer par d'autres PFAS. »

Mais qui est particulièrement concerné par leurs effets délétères ? « Les personnes exposées de manière professionnelle reçoivent les doses les plus élevées », fait savoir Francesca Mancini. « C'est le cas par exemple des pompiers, chez qui l'on a démontré une exposition cutanée du fait de leur équipement de protection, mais aussi une inhalation de particules des mousses anti-incendie. Il y a aussi des personnes exposées parce qu'elles vivent près de lieux contaminés par des rejets industriels. » La population générale n'est pas en reste pour autant : son exposition se fait par l'eau et la nourriture, qui arrivent déjà contaminées par des PFAS dans les maisons. La faute revient aux emballages qui contiennent également des PFAS, mais aussi au fait que ces substances s'accumulent dans les organismes et remontent la chaîne alimentaire.

Des polluants réabsorbés par l'organisme

Une fois dans l'organisme, les PFAS ont en effet la fâcheuse tendance à y rester. « Ce sont des polluants organiques persistants, mais contrairement à d'autres substances, ils ne s'accumulent pas dans les tissus graisseux. Ils se lient plus facilement aux protéines », fait savoir Francesca Mancini. Si l'organisme a du mal à les éliminer, c'est parce qu'ils sont réabsorbés par l'organisme. Lorsque les PFAS sont éliminés par les selles, la majorité d'entre eux repassent dans la circulation sanguine depuis l'intestin. « Pour les PFAS à chaîne longue, à partir de six atomes de carbone, on estime qu'il faut deux à six ans pour en éliminer la moitié. » Or, ce sont ces PFAS longs qui sont le plus utilisés. « Une autre voie d'élimination existe : c'est l'accouchement et l'allaitement. Mais dans ce cas, ils sont transmis à l'enfant, surtout si c'est le premier », pointe la scientifique.

Les PFAS sont suspectés d'agir comme perturbateurs endocriniens, en altérant la production et le comportement des hormones, ou en se liant aux récepteurs hormonaux. « Des liens ont été identifiés entre les PFAS et l'inflammation chronique, le stress oxydatif et des changements épigénétiques », c'est-à-dire concernant l'expression ou l'inhibition de certains

gènes. On ne sait pas encore si ces effets ont des impacts sur la santé, mais ils sont susceptibles de se transmettre d'une génération à la suivante. D'autres études montrent que les PFAS favorisent les cancers des testicules et des reins. « De plus en plus d'éléments suggèrent un lien avec certains cancers du sein, et des hypothèses existent concernant le cancer du pancréas », ajoute Francesca Mancini.

Si le mode d'action des PFAS est encore mal connu, les effets sur la santé d'une personne peuvent apparaître, selon la chercheuse, dès quelques picogrammes de PFAS par litre de sang, « l'équivalent d'une goutte dans une piscine ». Néanmoins, « il faut différencier les effets aigus et l'exposition chronique. » L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a établi une dose seuil d'ingestion de 4,4 nanogrammes par kilo et par semaine, une limite qui a déjà diminué ces dernières années et

Mots-clefs

Acide perfluorooctanoïque (PFOA)
—
Bioaccumulation
—
Perturbateur endocrinien
—
Contamination des sols
—



Vêtements imperméables*



Peinture



Mousse anti-incendie



Revêtement antiadhésif



Emballages alimentaires



Pesticides



Meubles résistants aux taches



Cosmétiques et produits de soins*

LES PRODUITS CONTENANT DES PFAS

*En France, depuis le 1^{er} janvier 2026, les PFAS sont interdits dans les cosmétiques, les farts de ski et les vêtements, excepté les tenues professionnelles de protection.

susceptible d'être encore amenée à changer avec les nouvelles recherches. Chez les nourrissons, l'exposition *in utero* et pendant l'allaitement est le principal contributeur à l'apport en PFAS. « *Cela pourrait augmenter les risques de cancer à l'âge adulte, mais le risque que représentent ces substances n'annule pas les bénéfices de l'allaitement,* » souligne la chercheuse.

Pour mieux comprendre les effets transgénérationnels des PFAS, Francesca Mancini suit la cohorte E3N-Génération, qui réunit des personnes d'une même famille sur trois générations. La chercheuse s'est en particulier intéressée à des duos mères-filles. Premier résultat : l'exposition aux PFAS a diminué entre la première et la seconde génération, même si elle reste importante. Par ailleurs, ces substances semblent bien interagir avec les voies métaboliques de la testostérone, du cholestérol et de la thyroïdostimuline, une hormone qui régule la thyroïde. « *Nous travaillons aussi à mieux comprendre les effets sur le cancer du sein et sur certains marqueurs biologiques. Actuellement, nous avons des études en cours sur les relations entre les PFAS et le cancer du pancréas, l'endométriose ou la maladie de Parkinson.* »

Malgré ces effets sanitaires de mieux en mieux connus, il demeure difficile, pour tout un chacun, d'échapper aux PFAS. Néanmoins, Francesca Mancini assure : « *il ne faut pas culpabiliser, car à l'échelle individuelle, on ne peut faire que très peu de choses. Selon le principe de précaution, il faut réglementer les PFAS de façon générale. Car si l'on montre les effets délétères d'une molécule, des composés qui en sont proches risquent de présenter les mêmes effets, d'autant que la substitution de molécules dangereuses va plus vite que leur évaluation scientifique.* » Certains cas d'usage sont cependant plus difficiles à évaluer, comme le matériel des pompiers qui les protège d'un risque immédiat. On trouve aussi des PFAS dans des médicaments ou des prothèses, celles-ci entraînant peu de rejets.

« *Depuis que c'est devenu un problème majeur de santé publique, il y a une explosion du nombre de publications sur les PFAS, mais certains aspects restent sous-explorés.* » — Pierre Benoit

Les PFAS s'accroissent dans les sols agricoles

Mais les PFAS ne se retrouvent pas que dans le corps humain. Les polluants éternels sont partout dans l'environnement, même aux pôles. Ils contaminent aussi les eaux souterraines, qui constituent les réserves d'eau potable pour la consommation. « *Les sources de rejet de PFAS sont très diversifiées mais essentiellement liées aux activités industrielles,* » indique Pierre Benoit, directeur du laboratoire Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (EcoSys – Univ. Paris-Saclay/AgroParis-Tech/INRAE). « *On a beaucoup plus de données sur les milieux aquatiques, issues de la surveillance de la qualité de l'eau. On sait aussi qu'il y a des PFAS dans l'air, mais on possède très peu de données à ce sujet. Ils*

peuvent être sous forme de poussières ou bien d'aérosols, suite à des épandages de pesticides. »

Dans son laboratoire, Pierre Benoit et ses collègues s'intéressent à la contamination des sols. « *Dans le cas des sols agricoles, les PFAS proviennent de différentes sources. Les boues de stations d'épuration ou certains composts urbains employés comme fertilisants à la place d'engrais de synthèse, font partie des voies d'entrée.* » Les eaux usées emportent en effet avec elles des produits ménagers, des cosmétiques, des fibres de vêtements, des fragments d'ustensiles de cuisine... Autant de sources de PFAS qui se retrouvent ensuite dans les stations d'épuration.

D'année en année, lorsque ces boues d'épuration ou ces composts sont utilisés de façon répétée sur les mêmes parcelles, les PFAS qu'ils contiennent s'accumulent dans le sol, migrent vers les eaux souterraines, voire s'accumulent dans les plantes ou des organismes comme les vers de terre. En 2021, une étude à laquelle a participé le laboratoire EcoSys, a analysé la contamination de déchets organiques sur une période de vingt-cinq ans. Ces travaux ont décelé la présence de 160 PFAS différents dans les sols agricoles. Les niveaux de concentration de ces sols agricoles restent cependant bien moins élevés que ceux de sites industriels, qui peuvent accumuler de grandes quantités de PFAS.

Des outils pour suivre le comportement des polluants

Suivre l'état des sols s'avère donc primordial, mais les données manquent encore. « *Depuis que c'est devenu un problème majeur de santé publique, il y a une explosion du nombre de publications sur les PFAS, mais certains aspects restent sous-explorés. Concernant le sol, on a des données sur la mobilité des PFAS, moins sur leur dégradation et encore moins sur leur bioaccumulation dans les organismes vivants.* » Le laboratoire EcoSys étudie

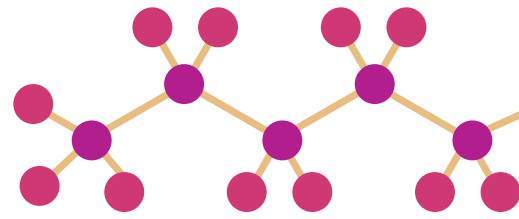
notamment la contamination des invertébrés du sol, « *par exemple la bioaccumulation des PFAS chez les vers de terre, car les polluants peuvent ensuite être transférés dans la chaîne alimentaire.* »

« *Nous avons participé à des essais longue durée à l'échelle nationale au cours desquels nous suivons plusieurs sites,* » explique le directeur de recherche. « *Nous avons notamment mesuré, dans des conditions réelles chez les agriculteurs et agricultrices, ce qu'il y a dans les composts, ce qui s'accumule dans le sol ou migre dans les eaux, voire vers les plantes récoltées sur leurs parcelles.* » Si les outils pour mesurer les contaminants dans les sols se sont améliorés, ils restent limités pour suivre précisément leur dynamique. Pierre Benoit et son équipe travaillent actuellement avec des scientifiques de l'Institut des sciences

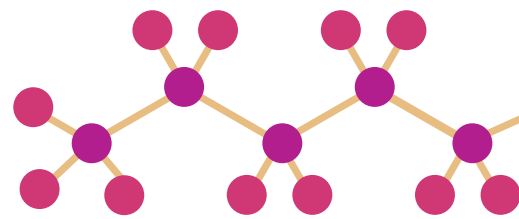
STRUCTURE DES PFAS LES PLUS CONNUS

● Carbone ● Fluor ● Oxygène

PFOA (acide perfluorooctanoïque)



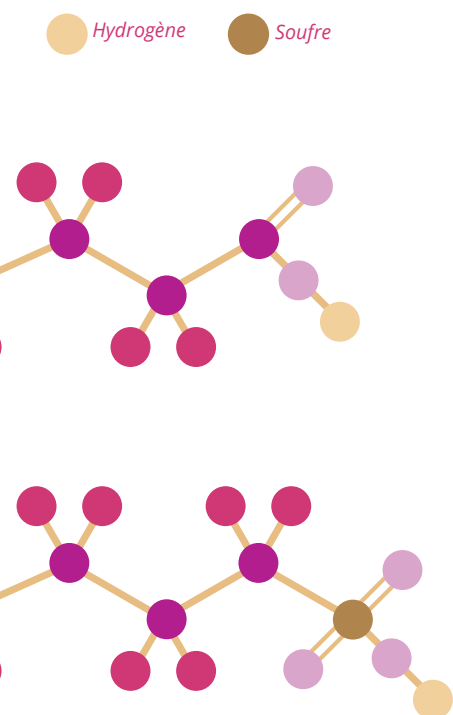
PFOS (acide perfluorooctanesulfonique)



du vivant Frédéric Joliot du CEA à développer une méthode de marquage des PFAS au carbone 14, un élément radioactif. « *Cela permettrait de suivre plus facilement leur comportement dans les sols et de mesurer leur transfert vers les plantes ou d'autres organismes.* » Le laboratoire EcoSys est justement équipé d'une plateforme d'expérimentation dédiée aux molécules radiomarquées.

Depuis février 2026, le projet FluorAgro, auquel collabore l'équipe de Pierre Benoit, poursuit cette étude de la contamination du sol. Son objectif est d'identifier toutes les sources de PFAS dans les sols agricoles et de mesurer leur bioaccumulation chez les plantes et les vers de terre. Cela servira à évaluer les niveaux de contamination des cultures les plus communes, comme les céréales et les légumineuses. À partir de ces données, le projet vise à évaluer le risque d'exposition aux PFAS par l'alimentation : car s'ils se concentrent dans des produits consommés par le bétail ou par les êtres humains, ce risque se révèle non négligeable. « *Pour le moment, tout cela est mal quantifié,* » déplore Pierre Benoit. « *On cherche à faire les mêmes évaluations qui ont été menées par le passé avec les métaux lourds, sauf que ces molécules sont très nombreuses : il y a des milliers de composés possibles alors que nous sommes capables d'en suivre quelques centaines.* »

Il faut donc réussir à identifier les propriétés chimiques de chacun de ces composés. Par exemple, les PFAS qui ont une chaîne de carbone courte sont plus solubles dans l'eau et migrent plus facilement, alors que ceux qui ont une chaîne plus longue sont moins mobiles et ont plus tendance à s'accumuler. Pour y voir plus clair, l'équipe a développé un outil : « *TyPol sert à classer les molécules en fonction de leurs structures chimiques et leurs propriétés. Cela nous aide à mieux comprendre les liens entre la structure*



chimique des PFAS et leur comportement dans l'environnement ou leurs effets écotoxicologiques. » Selon Pierre Benoit, il est maintenant possible d'identifier beaucoup plus de molécules qu'avant. « Les techniques ont énormément progressé, les seuils de détection sont de plus en plus précis et cela nous permet d'avancer bien plus vite. »

Comment détruire un polluant éternel ?

Alors, comment se débarrasser des polluants éternels déjà relâchés dans la nature ? En plus de mieux comprendre leurs effets, la recherche scientifique développe aussi des approches de dépollution pour éliminer ces composés. « C'est la particularité des PFAS : ils ne se dégradent pas ou presque pas tant que l'on n'intervient pas, du fait de cette liaison carbone-fluor très forte », explique Mehran Mostafavi, professeur de chimie physique à l'Université Paris-Saclay et membre de l'Institut de chimie physique (ICP – Univ. Paris-Saclay/CNRS).

« Plus une molécule est stable, moins elle est réactive, donc plus elle est résistante à l'élimination », poursuit l'enseignant-chercheur. « Il est possible de brûler les PFAS, mais cela implique de les chauffer à plus de 1000 °C, ce qui est contraignant et coûte cher. » Mais dégrader un PFAS, qu'est-ce que cela signifie ? « Ce sont des chaînes d'atomes de carbone. Si on les coupe en deux, on obtient juste de plus petits PFAS. Le but est donc de les minéraliser, c'est-à-dire de séparer tous les atomes de fluor de l'atome de carbone auxquels ils sont liés, pour avoir d'un côté des ions fluor (F⁻) et de l'autre des molécules organiques plus classiques. » Il est ensuite possible de récupérer les ions fluor sous forme solide.

Pour cette raison, ce sont les PFAS à chaîne courte qui sont les plus difficiles à transformer. « À l'ICP, nous avons travaillé

en particulier sur le TFA, ou acide trifluoroacétique. C'est une molécule omniprésente, parce que c'est à la fois celle qu'on utilise pour produire les autres PFAS et un produit de leur dégradation. » On trouve ainsi le TFA au début et à la fin du cycle de vie des PFAS. C'est une molécule très courte, avec seulement deux atomes de carbone, dont l'un d'eux est entouré de trois atomes de fluor. De plus, le TFA est un composé très soluble dans l'eau, ce qui favorise sa migration dans l'environnement.

Avec son équipe, Mehran Mostafavi a identifié une méthode pour définitivement minéraliser le TFA. « Pour des molécules plus longues, il avait été remarqué qu'un électron dit hydraté, c'est-à-dire isolé dans une solution aqueuse, est très réactif et parvient à casser la liaison carbone-fluor. » Cependant, le TFA résiste à cette réaction tant que ses deux carbones sont liés l'un à l'autre : il faut donc d'abord les séparer avec une autre espèce chimique elle aussi très réactive. « Nous avons trouvé qu'un ion oxygène négatif va dans un premier temps casser la liaison entre les atomes de carbone et ensuite seulement, les électrons hydratés vont réussir à séparer les atomes de fluor du carbone, une fois ces liaisons rendues plus accessibles. » Pour obtenir ces ions, les chimistes placent la molécule dans un environnement au pH basique, autour de 11. Les électrons hydratés, eux, sont produits en utilisant des rayonnements qui vont casser les molécules d'eau. « Pour cela, nous avons recouru à la plateforme de radiolyse impulsionnelle ELYSE de l'ICP », précise le professeur.

Cette approche a l'avantage de se passer de catalyseurs, souvent coûteux. « De plus, les rayonnements ionisants pénètrent en profondeur, ce qui permet de traiter en une fois un volume d'eau important. » Cette technique n'est par ailleurs pas spécifique au TFA, souligne Mehran Mostafavi : « Nous avons testé cette méthode sur une dizaine de PFAS, notamment le PFOA, et avons réussi à les éliminer à 100 %. » Elle fonctionne aussi pour des PFAS plus longs, mais nécessite alors plus de rayonnements, ce qui augmente le coût du traitement. « Par contre, on ne pourrait pas l'appliquer aux PFAS qui ne sont pas solubles dans l'eau, comme le Téflon. »

Dépolluer ne suffira pas

Dès lors, une question s'impose : pourra-t-on, demain, dépolluer les PFAS ? Mehran Mostafavi tempère : d'autres limites restent à lever. « Dans les produits de consommation, les concentrations sont trop faibles pour les éliminer directement. Il faut, dans un premier temps, filtrer les PFAS dans l'eau pour les concentrer et ensuite les traiter. Cela implique de développer des filtres spécifiques, et des recherches sont menées sur le sujet. Si on utilise cette méthode directement lors du traitement des eaux, les espèces réactives utilisées risqueraient d'interagir avec d'autres molécules que les PFAS, sans que l'on contrôle les produits de ces réactions. »

Quoi qu'il en soit, l'irradiation est déjà une méthode utilisée au niveau industriel pour stériliser des dispositifs médicaux et certains pays utilisent la radiolyse pour dépolluer d'autres composés. Le passage à l'échelle industrielle aurait donc la

possibilité de se faire facilement. « Au laboratoire, on ne traite que quelques millilitres de solution à chaque fois. Maintenant, il faut passer à des milliers de litres », appuie le professeur. « Pour cela, nous avons déposé un brevet et répondu à un appel à projets de la SATT Paris-Saclay. Nous sommes aussi en discussion avec des industriels. » Si la méthode développée à l'ICP se démocratise, elle aiderait les industriels à traiter les PFAS déjà stockés et en attente d'un moyen de les dégrader.

Toutefois, la dépollution n'est pas une solution miracle : elle ne servira qu'à traiter une partie des PFAS déjà relargués, pas à compenser de futurs rejets. Mehran Mostafavi fait le parallèle suivant : « Le but d'un médicament n'est pas de pouvoir continuer à tomber malade. Il faut donc diminuer drastiquement l'utilisation des PFAS, restreindre leur production et trouver des alternatives à ces molécules. Heureusement, la prise de conscience est en cours. »

La production et l'usage du PFOS et du PFOA ont fait l'objet de plusieurs réglementations européennes. En France, depuis le 1^{er} janvier 2026, les PFAS en général sont interdits dans les cosmétiques, les farts de ski et les vêtements, excepté les tenues professionnelles de protection. À partir de 2030, tous les textiles, à part certains tissus techniques, seront concernés par cette interdiction. Mais les PFAS ne sont pas pour autant abandonnés. L'interdiction ne concerne pas les ustensiles de cuisine, et l'association Générations Futures a listé 37 pesticides à base de PFAS toujours autorisés en Europe, parmi lesquels 30 sont autorisés en France. Les scientifiques ne pourront donc pas relâcher leurs efforts et devront encore investiguer davantage pour mieux documenter les effets de ces substances toxiques et identifier des alternatives. **E.G.**

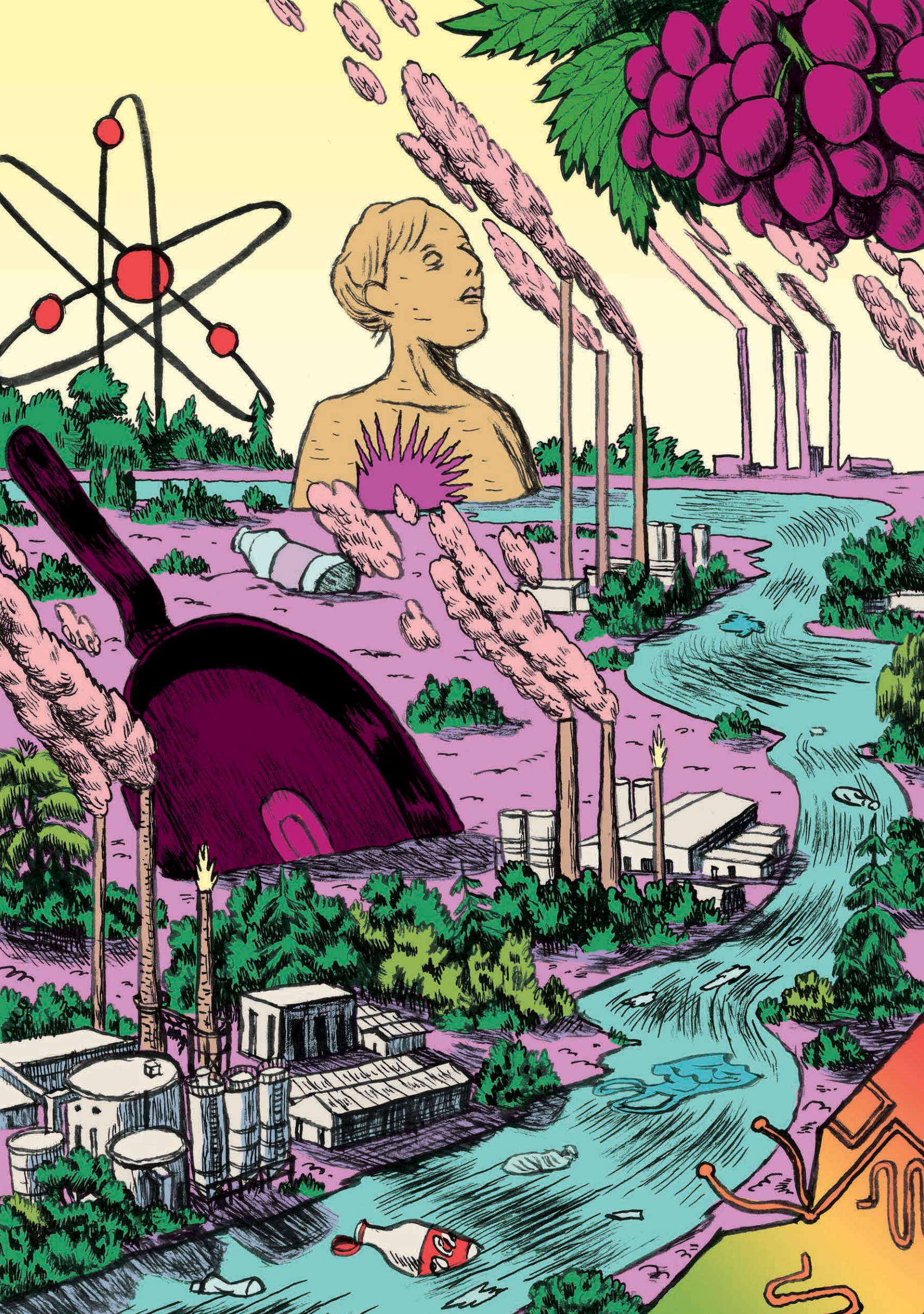
Références

— Francesca Romana Mancini *et al.* PFAS internal exposure levels across two generations and endocrine-metabolic biomarker associations in women from the French E3N-Generations cohort. *Environment International*, 2026.

— Gabriel Munoz *et al.* Target and Nontarget Screening of PFAS in Biosolids, Composts, and Other Organic Waste Products for Land Application in France. *Environ. Sci. Technol.*, 2022.

— Zhiwen Jiang *et al.* The O⁻/electron tandem path for complete mineralization of trifluoroacetate and perfluorocarboxylic acids. *Nat Water*, 2026.

— Générations Futures, « Pesticides PFAS révélations », 2023.



Sport

Une pluie de médailles pour les étudiantes et étudiants de l'Université Paris-Saclay

Au cours de l'année 2025-2026, les étudiantes et étudiants sportifs de la communauté de l'Université Paris-Saclay se sont illustrés dans plusieurs compétitions universitaires. Judo, handball, athlétisme, rugby, football... L'occasion de mettre en lumière les différentes associations sportives de l'université et les résultats de leurs athlètes.

La rentrée est toujours synonyme de nouveaux défis pour les étudiantes et étudiants. Pour neuf d'entre elles et eux, cette année universitaire a toutefois démarré par un challenge de taille. Le 12 septembre dernier, elles et ils se sont envolés vers l'Albanie pour concourir aux championnats d'Europe universitaires de judo. « C'est la première fois que l'équipe de l'Université Paris-Saclay participe à un tel championnat », se réjouit Gaël Tchang-Minh, qui accompagne l'équipe de judo, avec son collègue Steeven Da Silva. « Par le passé, des étudiantes et étudiants se sont déjà qualifiés en individuel aux championnats européens, mais en équipe c'est toujours un défi de se classer parmi les trois premiers. »

« Nos étudiantes et étudiants ne sont pas obligés de faire un sport en compétition. Mais nous essayons de les inciter parce que c'est un terrain d'expérimentation et de formation formidable. »

— Sébastien Kaiser

En mars 2026, c'est un double sésame que les judokas décrochent aux championnats de France universitaires. Le premier jour, Christ Hippocrate s'illustre en montant sur la première marche du podium de sa catégorie, tandis que Romane Maud et Amaury Hubert s'emparent de la troisième place dans leur groupe respectif. Le lendemain, les trois athlètes, rejoints par cinq autres, unissent leurs forces pour hisser l'équipe au titre de vice-championne de France. « Cette année, nous avons réussi à créer une belle émulation et une vraie âme d'équipe, bien que nos athlètes viennent de composantes différentes », se félicite Gaël Tchang-Minh, professeur de judo à la Faculté des sciences du sport (F2S) de l'Université Paris-Saclay, et Steeven Da Silva, professeur de judo au Service universitaire des activités physiques et sportives (SUAPS) de l'Université Paris-Saclay.

Plusieurs associations sous une même entité

Au sein du périmètre de l'Université Paris-Saclay, il existe en effet différentes associations sportives pour pratiquer un sport en compétition universitaire. Le SUAPS s'adresse à toutes les étudiantes et étudiants de l'université, quelle que soit leur filière ou composante. L'AS STAPS, comme son nom le suggère, rassemble exclusivement celles et ceux des parcours de formation en Sciences et techniques des activités physiques et sportives de la F2S. S'ajoutent à cela les associations

sportives de l'Université d'Évry et de l'Université de Versailles – Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ).

« Ces quatre associations sont réunies sous une seule entité, l'Association sportive de l'Université Paris-Saclay (ASUPS) qui compte environ un millier d'étudiantes et étudiants inscrits en sport en compétition », décrypte Sébastien Kaiser, président de l'AS STAPS et enseignant à la F2S. Tout au long de l'année, les athlètes s'entraînent et concourent sous leur entité propre. Mais elles et ils sont parfois regroupés en une seule équipe, notamment aux championnats nationaux, pour représenter l'Université Paris-Saclay. C'est le cas de l'équipe de judo qui mêle des étudiantes



© DR

« Nos étudiantes et étudiants ne sont pas obligés de faire un sport en compétition. Mais nous essayons de les inciter parce que c'est un terrain d'expérimentation et de formation formidable », reprend l'enseignant. Actuellement, une dizaine de spécialités sont accessibles en compétition. Outre le judo, c'est le cas du handball où l'équipe masculine de l'AS STAPS a terminé championne d'Île-de-France 2026. « Cela a été une bonne année », confirme Sébastien Kaiser. « L'équipe masculine est allée jusqu'en phase nationale à Brest où elle a terminé à la sixième place. » Là encore, le collectif a été renforcé d'étudiants d'autres composantes et rattachés au SUAPS.

Une saison à succès pour l'équipe d'ultimate

Dans les sports populaires comme le rugby, le football, le futsal (football en salle) ou l'athlétisme, l'existence des différentes associations sont autant d'opportunités de pratiquer et de concourir pour les étudiantes et étudiants de l'Université Paris-Saclay. Le SUAPS, qui propose au total une vingtaine de sports en compétition, est cependant le seul à proposer certaines disciplines comme l'ultimate (sport utilisant un frisbee), dont l'équipe a brillé en 2026 en terminant vice-championne d'Île-de-France, puis troisième des championnats nationaux.

Il en va de même, par exemple, pour la boxe française où deux étudiants, Mouhamadou Ba et Baptiste Filoleau, ont été décorés d'une médaille d'or et d'une médaille de bronze respectivement lors du dernier championnat Île-de-France. De quoi placer cette nouvelle année universitaire et sportive sous de bons auspices. **E.F.**

<https://www.universite-paris-saclay.fr/vie-de-campus/le-sport-sur-les-campus-de-paris-saclay>

Un pont entre formation et pratique sportive

Les judokas ne sont évidemment pas les seuls à avoir récolté des titres au cours de l'année 2025-2026, en particulier au sein de la filière STAPS où des liens forts se tissent entre pratique sportive et formation. « Pendant que nos étudiantes et étudiants pratiquent, elles et ils développent aussi leurs compétences en matière d'intervention et d'encadrement dans les sports », détaille Sébastien Kaiser. Dès la première année de licence STAPS, il leur est demandé de choisir un sport en spécialité dont l'enseignement sera plus poussé.

Passage

Une plateforme unique pour rassembler toutes les offres de stage de 3^e et de 2nde à l'Université Paris-Saclay

Lancée en septembre 2026, Passage est une plateforme qui vise à faciliter la découverte de l'Université Paris-Saclay, de ses activités et de ses métiers par les élèves de troisième et de seconde, en rassemblant toutes les offres de stage proposées au sein de l'université.

En classe de troisième comme en seconde, les stages constituent pour les élèves de premiers pas importants dans le monde professionnel. C'est l'occasion, pour eux, de découvrir un environnement qui les intéresse ou de leur ouvrir de nouveaux horizons afin de réfléchir à leur projet d'orientation. Mais trouver un stage n'est pas toujours une mission aisée pour les élèves, en particulier lorsque l'on n'a pas la chance d'avoir un contact dans le milieu visé.

Au sein de l'Université Paris-Saclay, des stagiaires de troisième et de seconde sont régulièrement accueillis dans différentes structures pour offrir une première immersion dans le monde de la recherche scientifique. Toutefois, ces opportunités ne sont pas toujours connues. À l'inverse, d'autres structures souhaiteraient proposer des stages à des élèves du secondaire, mais sans avoir suffisamment de ressources en interne pour proposer des activités sur plusieurs jours. C'est du constat de ces difficultés qu'est née Passage, la Plateforme d'accès aux stages en secondaire et activités génériques extrascolaires.

Toutes les offres sur une même plateforme

↓ Lancée en septembre 2026, Passage est pilotée par La Diagonale · Université Paris-Saclay, la direction Arts, culture, sciences et société de l'université, dans le cadre de Springboard, projet lauréat du PIA4 Excellences (4^e Programme d'investissements d'avenir). « L'objectif principal de la plateforme est d'être une vitrine des stages à l'université », éclaire Alice Centofanti, en charge du projet à La Diagonale · Université Paris-Saclay. Autrement dit, de rassembler en un seul et même site toutes les opportunités de stage proposées à l'Université Paris-Saclay au public scolaire. « Jusqu'ici, il était compliqué de connaître les différentes possibilités parce que chaque structure propose les stages sur son propre site. Les offres sont donc très dispersées. »

Avec Passage, vient l'idée de dresser une cartographie de l'offre disponible, et de concevoir un outil capable de la rendre visible, y compris auprès d'un public plus éloigné et ne connaissant pas les possibilités de l'université. Le projet donne également l'opportunité d'enquêter sur les problèmes potentiels rencontrés par les structures accueillantes ou souhaitant accueillir. « Certaines ont expliqué qu'elles ont du mal à dégager suffisamment de temps pour proposer aux stagiaires une offre intéressante sur deux semaines », poursuit Alice Centofanti. « Elles ont évoqué l'idée de



créer des stages mutualisés où les élèves auraient la possibilité de se rendre à plusieurs endroits. »

Initialement, le projet Passage ne concernait que les structures de recherche. La plateforme se destinait ainsi à faciliter la rencontre entre les élèves et les laboratoires, afin d'encourager les vocations scientifiques et de rendre les sciences accessibles à tous et toutes. Puis, au fil de sa conception, « on s'est dit qu'il serait plus intéressant d'ouvrir cette possibilité à tous les services et structures, parce qu'il n'y a pas que des chercheurs et chercheuses à l'université, il y a plein d'autres métiers », détaille la chargée de projet.

Un outil aux multiples fonctionnalités

↓ Développée avec une équipe du Digital Institute et des systèmes d'information (DISI) de CentraleSupélec, la plateforme offre la possibilité aux élèves de s'inscrire pour consulter toutes les structures proposées au sein de l'Université Paris-Saclay, et de déposer leur candidature. Des filtres aident à restreindre les recherches à une période, une thématique ou un périmètre géographique. Outre les offres disponibles, le portail affiche également les structures de l'université correspondant aux critères recherchés et acceptant des candidatures spontanées.

Pour proposer un stage, c'est sur cette même plateforme que les démarches se réalisent, via la création d'un profil professionnel. « Une fois inscrit, l'utilisateur ou utilisatrice est libre de personnaliser sa structure avec son adresse, un descriptif et une photo », déroule Alice Centofanti. « Il est ensuite possible de proposer des stages déjà planifiés, d'accepter des candidatures spontanées ou simplement de voir qui est intéressé par sa structure. » L'outil aide aussi

à gérer les candidatures, du téléchargement des documents associés à la prise de contact avec l'élève.

Ajouté à ces fonctionnalités, une partie calendrier donne la possibilité d'indiquer ses disponibilités sur une période spécifique, en vue de stages mutualisés. Dans ce même objectif, les filtres de recherche aident les utilisateurs et utilisatrices à trouver des structures similaires à la leur. « La plateforme ne crée pas de stages mutualisés, mais c'est une façon de trouver d'autres structures avec qui créer quelque chose ensemble. »

En rodage pour la première année

↓ Désormais lancée, la plateforme Passage entame une première année de rodage. L'équipe de La Diagonale · Université Paris-Saclay travaille actuellement avec plusieurs structures, dont le service Communication, médiation et patrimoine scientifiques (Compas) de la Faculté des sciences d'Orsay, habitué à collaborer avec des établissements scolaires et des laboratoires pour différentes initiatives. Cette phase va consister à voir comment les élèves et les professionnels s'approprient la plateforme et les contenus qui vont y être ajoutés.

En plus de rassembler les offres de stage de l'université, le projet ouvre déjà d'autres perspectives. Le pôle Orientation et insertion professionnelle (OIP) de la Direction de la formation et de la réussite (DFR) de l'Université Paris-Saclay projette d'utiliser Passage comme outil pédagogique pour travailler avec des élèves de seconde sur la façon de candidater à une offre, construire un curriculum vitae et rédiger une lettre de motivation. **E.F.**

<https://passage.universite-paris-saclay.fr/>

Développement soutenable

Quand la Fresque du climat s'invite à la rentrée des formations

En septembre dernier, les étudiantes et étudiants de plusieurs parcours de formations ont eu l'opportunité de participer à un atelier de la Fresque du climat, au cours de leurs journées d'intégration. À l'aide d'un jeu de cartes, cette activité pédagogique et collaborative vise à sensibiliser le plus grand nombre aux enjeux climatiques actuels.

Trois heures d'échanges autour d'un jeu de cartes. C'est l'expérience vécue le 10 septembre dernier par une centaine d'étudiantes et étudiants en master, lors de la semaine de rentrée de la Graduate school Sport, mouvement, facteurs humains (GS SMFH). Une semaine plus tard, cela a été au tour des promotions des masters Éducation et enseignement (M2E, anciennement Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation - MEEF) de vivre la même expérience, lors de leur journée d'intégration organisée par le Service de formation des enseignants (SFE) de la Faculté des sciences d'Orsay.

Chacune de ces journées a donné la possibilité aux étudiantes et étudiants, répartis en petits groupes, de commencer à tisser des liens entre eux, ainsi qu'avec les équipes enseignantes, en ce début d'année universitaire. Il ne s'agissait toutefois pas du seul objectif de cette activité collaborative, qui a fait appel à un jeu de cartes très particulier : celui de la Fresque du climat.

d'échanger sur les positions et ressentis de chacun et chacune.

« La Fresque du climat est un très bon outil pour comprendre les problèmes du changement climatique et des émissions de dioxyde de carbone », juge Alexandra Perrot, enseignante-chercheuse à la Faculté des sciences du sport qui a animé l'un des ateliers organisés par la GS SMFH. « Même en tant qu'animatrice, cela nous fait réfléchir sur nos propres comportements. »

C'est en 2024 que la Fresque du climat s'est invitée pour la première fois à la rentrée des promotions de masters MEEF, à l'initiative du SFE. Grâce au soutien financier de la Graduate school Éducation, formation, enseignement (GS EFE), l'expérience se renouvelle maintenant d'année en année. *« Cette journée d'intégration est l'occasion pour les jeunes professeures et professeurs de devenir, d'échanger autour de cet enjeu sociétal majeur qu'est le changement climatique », explique Catherine*

développement soutenable. Sur ce total, dix heures sont portées par la GS SMFH qui organise les ateliers de rentrée et des séminaires.

« Depuis l'année dernière, nous avons essayé de former un maximum d'enseignantes et enseignants, et de personnels pour assurer ces ateliers », confirme l'enseignante-chercheuse. Elles et ils sont désormais une vingtaine à avoir suivi le parcours de formation. Cette rentrée 2026-2027 a cependant inauguré une nouveauté. Tandis que les promotions de première année ont suivi un atelier de la Fresque, celles de seconde année ont participé à un atelier 2tonnes.

Également basée sur une pédagogie ludique et collaborative, cette activité propose d'identifier des solutions, individuelles ou collectives, pour réduire l'empreinte carbone en 2050. *« L'idée est que ce ne soit pas redondant pour les promotions ayant déjà participé à la Fresque », éclaire Alexandra Perrot. « L'atelier 2tonnes adopte une approche axée sur les solutions, c'est donc la suite logique. Cela nous permet aussi d'avoir du recul sur le premier atelier et voir ce que cela a changé pour les étudiantes et étudiants. »*

Intégrée au cycle ingénieur à Polytech Paris-Saclay

↓ Au-delà de la rentrée, la Fresque du climat s'est aussi fait une place dans d'autres composantes de l'université. À Polytech Paris-Saclay, elle intervient maintenant dans le parcours des futures ingénieures et ingénieurs, au sein d'une unité d'enseignement (UE) intitulée « l'ingénieur face aux enjeux sociétaux ». *« Cette UE vise à aborder différents sujets dont ceux du développement durable, de la transition énergétique et de la sobriété », détaille Claudine Gillot, ingénieure pédagogique Développement durable & responsabilité sociétale à Polytech Paris-Saclay.*

Organisés en troisième année du cycle, les ateliers de la Fresque sont également animés par des enseignantes, enseignants et personnels spécifiquement formés à cet effet, à l'instar de Claudine Gillot. *« En janvier 2026, les ateliers ont rassemblé à peu près 180 étudiantes et étudiants. Les échanges ont été très riches. »*

Comme pour les promotions de la GS SMFH et du SFE, cette activité constitue un point de départ pour ouvrir d'autres portes sur la question des enjeux climatiques. Lors de la dernière édition, la journée s'est ainsi poursuivie par une conférence de The Shift Project, pour mettre en débat le rôle clé des ingénieurs dans la transition écologique et réfléchir aux leviers d'action concrets. **E.F.**



© GS SMFH

Un outil pour sensibiliser aux enjeux climatiques

↓ Créé en 2015, cet outil pédagogique vise à sensibiliser le plus grand nombre aux enjeux climatiques actuels, ainsi qu'à ses causes et conséquences. Il s'appuie pour cela sur une quarantaine de cartes créées à partir des rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), et représentant différentes composantes du changement climatique. Pendant chaque atelier, les participantes et participants sont invités à utiliser les cartes pour construire une fresque, faisant ressortir les liens entre les composantes. Le groupe doit ensuite s'approprier la fresque en l'illustrant, avant

Berrier, directrice du SFE. *« C'est une expérience qu'elles et ils auront la possibilité de mettre à profit pour leur propre activité professionnelle dans l'avenir. »*

Comprendre les enjeux puis identifier des solutions

↓ À la Faculté des sciences du sport, c'est la deuxième fois qu'une telle activité est proposée. *« L'an passé, nous avons eu de bons retours de la part des étudiantes et étudiants, même si l'expérience suscite beaucoup d'émotions », témoigne Alexandra Perrot. L'initiative s'inscrit dans une démarche plus importante visant à intégrer, à chaque parcours de master, vingt heures d'enseignements sur le thème du*



© CentraleSupélec

Bâtiment Breguet

Après trois ans de travaux, le bâtiment ouvre un nouveau chapitre de son histoire

Après trois ans de travaux, le bâtiment historique Louis Charles Breguet a rouvert ses portes au cœur du campus de CentraleSupélec, sur le plateau de Moulon à Gif-sur-Yvette. L'ensemble architectural, construit dans les années 1970, a connu une véritable transformation. Étendu sur 36 000 mètres carrés de surface, le bâtiment va devenir un lieu incontournable pour la communauté de l'Université Paris-Saclay, puisqu'il accueille désormais le siège de l'université, des laboratoires, des espaces d'enseignement mais aussi une maison de la santé hébergeant le Service de santé étudiante (SSE).

C'est un bâtiment flambant neuf qui vient de rouvrir ses portes sur le plateau de Moulon à Gif-sur-Yvette. À quelques centaines de mètres des bâtiments Eiffel et Bouygues de CentraleSupélec, les échafaudages et les palissades ont désormais disparu pour laisser place à une nouvelle silhouette : celle du bâtiment Louis Charles Breguet. En ce lundi de début septembre, un groupe d'étudiantes et d'étudiants s'achemine vers l'entrée du complexe pour gagner l'une des salles d'enseignement. D'autres s'installent sur des canapés à disposition dans le hall baigné de lumière. C'est un retour à la vie pour le complexe qui n'a pas accueilli de public depuis trois ans.

Baptisé en l'honneur du constructeur d'avions français, l'un des acteurs fondateurs de la société Air France et diplômé de Supélec, le bâtiment Louis Charles Breguet est un édifice chargé d'histoire. Il a été construit dans les années 1970 alors que l'école d'ingénieurs s'installait tout juste sur le plateau de Saclay. À cette époque, le voisinage était encore rural et essentiellement composé de champs. Depuis, la ville s'est développée et le campus s'est étendu. En 2017, les bâtiments Eiffel et Bouygues ont ouvert leurs portes. Il était temps pour leur voisin historique de connaître un coup de jeune.

« Le bâtiment Breguet, conçu par Michel Longuet et Michel Herbert, est une structure béton impressionnante ancrée dans une

géographie à la dualité forte entre grand paysage et urbanité du campus », explique dans un entretien à CentraleSupélec, François Guillon, responsable maîtrise d'ouvrage du projet Breguet. Plutôt que de reconstruire un nouvel ensemble

d'échanges. La création de cette halle lumineuse a d'ailleurs nécessité une véritable prouesse technique à l'été 2025 : la pose d'une verrière de 2 500 m². Le nouveau bâtiment Breguet a été pensé comme un lieu ouvert et transversal,

« L'ensemble du bâtiment est rénové dans le respect de l'architecture initiale, avec une grande part donnée au réemploi de nombreux matériaux. » — François Guillon

architectural, il a été décidé de préserver le patrimoine historique, en optant pour une rénovation complète du complexe. « L'ensemble du bâtiment est rénové dans le respect de l'architecture initiale, avec une grande part donnée au réemploi de nombreux matériaux », confirme le responsable.

36 000 m² pour rassembler des usages multiples
Celles et ceux qui ont connu l'édifice original reconnaissent donc aisément sa silhouette et ses façades en bandeaux. Son intérieur, en revanche, a connu une complète transformation imaginée par les architectes de l'Atelier Kempe Thill et de Patriache. L'ensemble s'étend désormais sur une surface de 36 000 m² répartie autour d'une halle centrale, faisant office de « volume cœur » et d'espace

destiné à favoriser les rencontres et les échanges entre les différentes communautés du campus. Ses volumes, répartis sur quatre ailes, ont ainsi été conçus pour accueillir des usages aussi multiples que divers. À commencer par l'enseignement : quelque 3 800 m² d'espaces y sont consacrés. Le complexe recèle également 10 000 m² d'espaces dédiés à la recherche, où doivent s'installer le Laboratoire des signaux et systèmes (L2S - Univ. Paris-Saclay/CNRS/CentraleSupélec), le laboratoire Supélec ONERA DSTA Research Alliance (SONDRA - Univ. Paris-Saclay/CentraleSupélec/ONERA/Organisation scientifique de la Défense - Singapour/Univ. nationale Singapour) et le laboratoire de Génie électrique et électronique de Paris (GeEPS - Univ. Paris-Saclay/CentraleSupélec/CNRS/Sorbonne Univ.). À cela,

s'ajoutent 6 500 m² d'espaces destinés à des entreprises et des start-up.

Pour l'Université Paris-Saclay, la réouverture du bâtiment Breguet est une étape institutionnelle importante, puisque l'ensemble accueille désormais, via une convention signée sur vingt-cinq ans, le siège de l'université. Celui-ci comprend de nombreuses directions centrales, la présidence ainsi que la Fondation de l'Université Paris-Saclay, réparties sur près de 2 000 m² d'espaces de bureau. « C'était un projet de l'université que d'avoir sa présidence dans ce bâtiment et d'associer des activités très variées, notamment des services administratifs et des services de vie étudiante », précise Antoine Latreille, vice-président en charge du patrimoine à l'Université Paris-Saclay.

Pour les étudiantes et étudiants, le bâtiment Breguet devrait en effet devenir un lieu incontournable, et pas seulement pour les enseignements. Depuis le mois d'octobre, le Service de santé étudiante (SSE) de l'Université Paris-Saclay s'y est installé, au sein d'un espace dédié : la maison de la santé qui s'étend sur 960 m² au premier étage du complexe.

↓ **Faciliter l'accès aux soins**
Plus qu'un simple déménagement, ceci marque une évolution pour le SSE. « Parmi les services actuels que nous proposons, certains vont s'amplifier. Nous allons aussi y ajouter des services nouveaux, parce

que nous allons disposer de plus de place, de plus de temps et de plus de personnel », révèle le Dr Brigitte Caron, médecin directrice du SSE de l'Université Paris-Saclay. Le service et ses différents pôles santé, répartis sur l'ensemble des campus, regroupaient jusqu'ici des activités liées à la prévention individuelle, à la prévention collective et à la pair-aidance. Vont désormais s'y ajouter des activités liées au traitement thérapeutique sur les différentes thématiques que sont la santé mentale, la santé sexuelle, l'alimentation, l'activité physique et les addictions.

« Depuis la réforme de 2023, les SSE se doivent d'être garants de l'accès aux soins de premier recours pour les étudiantes et étudiants », éclaire la médecin directrice. Cette mission intervient du fait d'un contexte difficile et marqué notamment par une désertification médicale qui gagne du terrain. « De nombreuses étudiantes ou étudiants sont aujourd'hui en renoncement de soins parce qu'ils n'ont pas de médecin traitant, qu'ils doivent se déplacer trop loin ou qu'ils n'ont pas l'argent. » C'est pour pallier ces difficultés que le SSE a travaillé à étendre ses activités à travers la maison de la santé de l'Université Paris-Saclay.

On y retrouve les pôles qui existaient déjà, tels que celui de prévention collective et celui de prévention individuelle, auxquels s'ajoute donc une nouvelle offre. Le pôle de santé mentale, par exemple, qui était jusqu'ici concentré sur la prévention et

l'accompagnement de courte durée, va ainsi s'enrichir d'une offre thérapeutique en 2027, grâce notamment au recrutement de psychologues et psychiatres supplémentaires. En outre, le SSE inaugure un nouveau pôle, le centre de santé, qui vise à rassembler les médecins généralistes, infirmières et infirmiers. « Nous proposons les mêmes types de consultations de prévention qu'auparavant à destination de la communauté étudiante, et en particulier les publics les plus fragiles », souligne le Dr Brigitte Caron. Mais là encore, grâce au recrutement de praticiennes et praticiens supplémentaires, « nous y ajoutons une partie thérapeutique avec des consultations de médecine générale ».

Autre nouveauté parmi d'autres : le Centre départemental de santé sexuelle de l'Essonne, basé jusqu'ici à Orsay, va prendre ses quartiers dans la maison de la santé, avec son équipe de professionnels. « Le centre sera sur place quatre jours par semaine et proposera des informations, des consultations, des tests de dépistage, des vaccinations, etc. », détaille la médecin directrice, précisant que tous les pôles de la maison de la santé seront, à terme, desservis par un accueil et un guichet unique.

↓ **Accessibles aux étudiants, aux personnels et au grand public**
Si le SSE a déjà commencé à prendre ses marques dans le bâtiment Breguet, le déploiement de la maison de la santé de l'Université Paris-Saclay et de ses activités se fera de manière progressive. « Nous allons avoir une montée en puissance de l'activité qui va s'étaler jusqu'à 2028 », confirme Brigitte Caron. Car l'offre ne va pas concerner que les étudiantes et étudiants du périmètre de l'université.

À terme, l'objectif est que les consultations de médecine générale proposées au centre de santé soient également accessibles aux personnels de l'université, mais également au grand public et notamment aux habitantes et habitants des environs où les médecins se font rares. « La prise de rendez-vous se fera sur Doctolib, comme un centre de santé classique, mais les étudiantes et étudiants resteront toujours prioritaires », rappelle la médecin directrice.

Formation, recherche, innovation, vie universitaire, santé étudiante... Après trois années passées à l'abri des regards et vidé de ses occupantes et occupants, le bâtiment Breguet entame bel et bien un nouveau chapitre de son histoire.
E.F. (avec B.D.)

<https://www.centralesupelec.fr/actualites/avec-breguet-centralesupelec-acheve-la-metamorphose-de-son-campus>

<https://www.universite-paris-saclay.fr/maison-de-la-sante-de-luniversite-paris-saclay>



© CentraleSupélec

L'agenda

Automne 2026 / Hiver 2027

 Lieu  Hôte

On y était

OCTOBRE

6 octobre
Tremplin : le forum carrière du doctorat



Forum emploi

 **Bâtiment Henri Moissan, Orsay**
 **Pôle universitaire d'innovation (PUI) Innovation Alliance Université Paris-Saclay**
Dans le cadre du Pôle universitaire d'innovation (PUI) Innovation Alliance Université Paris-Saclay qu'elle porte, l'Université Paris-Saclay a organisé la première édition de son forum dédié aux carrières des docteurs et docteuses et aux synergies entre le monde de la recherche académique et celui des entreprises. Il a offert l'occasion de mieux appréhender les opportunités de carrière à la suite d'un doctorat, lors de tables rondes en amphithéâtre ou lors de discussions aux stands des entreprises présentes à l'événement.
<https://www.universite-paris-saclay.fr/actualites/tremplin-le-forum-carriere-du-doctorat>

Ne pas manquer

NOVEMBRE

12 → 27 novembre
L'Édition a 10 ans !

Exposition

 **Bâtiment Henri Moissan, Orsay**
 **Université Paris-Saclay**
Pour célébrer le 10^e anniversaire de *L'Édition*, cette exposition met en lumière les illustrations parues dans les cahiers de recherche des trente numéros du journal externe et international de l'Université Paris-Saclay. C'est l'occasion de découvrir les coulisses de *L'Édition* et le travail réalisé derrière chacune de ces illustrations.
<https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/les-10-ans-du-journal-ledition-dans-une-exposition>

16 → 20 novembre
Open Science Week



Événement

 **En ligne et Lumen, Gif-sur-Yvette**
 **Université Paris-Saclay**
Cet événement d'envergure internationale, auquel participe chaque année l'Université Paris-Saclay, vise à promouvoir les démarches de science ouverte et l'accès aux résultats de la recherche scientifique. Webinaires, formations, ateliers, jeux et stands rythmeront cette nouvelle édition,

avec des rendez-vous pour découvrir les pratiques, les outils et les initiatives qui façonnent aujourd'hui la science ouverte.
<https://osw2026.sciencesconf.org/>

26 novembre
Sciences en jeux

Journée d'étude

 **Lumen, Gif-sur-Yvette**
 **Université Paris-Saclay, association S[cube]**
Pour sa deuxième édition, la journée « Sciences en jeux » propose de découvrir la richesse et la diversité des jeux existants pour faire de la médiation scientifique, à travers un riche programme incluant une table ronde, des visites de stands, des ateliers et bien entendu des jeux. Elle sera également l'occasion de rencontrer et d'échanger avec des professionnelles et professionnels du jeu, de la culture scientifique ou encore d'autres scientifiques.
<https://sciencessociete.universite-paris-saclay.fr/en-ce-moment/nos-actualites/journee-sciences-en-jeux-2026/>

27 & 28 novembre
Fake news – Un ennemi du peuple



Théâtre

 **Scène de recherche, Gif-sur-Yvette**
 **Scène de recherche – Théâtre Paris-Saclay**
Interprété par treize comédiennes et comédiens et revisitant *Un Ennemi du peuple* d'Henrik Ibsen, *Fake news* est une pièce grand format qui s'empare d'une question brûlante : à qui faire confiance ? L'œuvre transporte les spectateurs et spectatrices dans une ville où l'eau pourrait être contaminée et où la parole scientifique se heurte aux intérêts politiques et économiques. Sur scène, le débat s'emballe, les récits s'affrontent et se déforment, pour questionner les sujets de la confiance et de la recherche de la vérité.
<https://scenederecherche.ens-paris-saclay.fr/agenda/fake-news-ennemi-peuple>

DÉCEMBRE

15 décembre
Cafés des labos soutenables



Rencontre

 **En ligne**
 **Vice-présidence Développement soutenable et responsabilité sociétale (DS&RS) de l'Université Paris-Saclay**
Organisés une fois par mois de 13h à 14h, les « Cafés des labos soutenables » (CLASS) sont l'occasion pour les personnels de laboratoire de partager leur expérience sur la mise en place d'actions de transition dans le laboratoire, puis d'échanger sur les

bonnes pratiques, les difficultés et solutions rencontrées. La session du 15 décembre fera intervenir Sophie Schbath, directrice de recherche au laboratoire Mathématiques et informatique appliquées du génome à l'environnement (MalAGE – Univ. Paris-Saclay/INRAE) sur la thématique communication et sensibilisation.
<https://www.universite-paris-saclay.fr/actualites/cafes-des-labos-soutenables-class>

JANVIER

20 janvier → 25 mars
Bienvenue en Nitrocène

Exposition

 **Lumen, Gif-sur-Yvette**
 **Lumen, Observatoire de l'Azote**
Cette exposition vise à découvrir de manière sensible les mondes multiples de l'azote. Depuis le début du 20^e siècle, cet élément fondamental à la vie sur Terre a fait l'objet d'une quête techno-scientifique majeure. Du fertilisant agricole à l'explosif militaire en passant par les médicaments miracles, l'azote traverse tous les domaines et sature les milieux. Le parcours de cette exposition invitera à expérimenter d'autres façons de penser et de faire monde avec cet élément.

FÉVRIER

3 → 4 février
Paris-Saclay Summit – Choose science



Événement

 **CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette**
 **Communauté d'agglomération Paris-Saclay, Le Point, Région Île-de-France, département de l'Essonne, Impulse Partners, Université Paris-Saclay**
Devenu un temps fort annuel de la recherche et de l'innovation, le Paris-Saclay Summit offre deux nouvelles journées destinées à mettre la science au cœur de la société. Au programme de cette 4^e édition, figurent plus de quatre-vingts conférences et rencontres-débats avec des scientifiques, dont des experts de l'Université Paris-Saclay, des inventeurs, des citoyens, des politiques, des étudiants et des entrepreneurs, offrant des regards croisés sur des thématiques majeures telles que la santé, l'énergie, l'intelligence artificielle ou encore l'innovation industrielle.
<https://evenements.lepoint.fr/paris-saclay-summit/>

À lire

Automne 2026



Collection « Pourparlers »

Lancée en juin 2026, la collection « Pourparlers » est éditée par la MSH Paris-Saclay en collaboration avec la Scène de Recherche – Théâtre Paris-Saclay au sein des POPS, les Presses ouvertes de l'Université Paris-Saclay. Elle se situe à la rencontre entre deux entités académique et artistique porteuses de visions fortes. Chaque ouvrage de la collection repose sur une structure simple, composée d'un texte artistique et un ou plusieurs articles scientifiques, qui sont réunis autour d'une même thématique.

Le premier ouvrage de la collection met à l'honneur la pièce de théâtre *Quand la ville se lève* de Charlotte Lagrange, présentée à la Scène de recherche en janvier 2026, aux côtés de deux textes scientifiques de Clémentine Cottineau-Mugadza et Denise Pumain, pour explorer les thèmes de la gentrification, de l'étalement urbain et la façon dont l'aménagement du territoire façonne aussi bien la terre que les vies humaines.

Deux autres ouvrages, l'un autour du spectacle *Erdal est parti* de Simon Roth et l'autre autour de l'adaptation de l'œuvre *Les Héritiers* par Julien Avril, sont à paraître fin 2026. Dans l'attente de leur mise en ligne à l'ouverture du portail des POPS, les ouvrages sont disponibles en version papier à la MSH Paris-Saclay et à la Scène de recherche.

<https://msh-paris-saclay.fr/ouvrages/pourparlers/>

Membres du comité éditorial ayant participé au numéro :

Juliette Berny, Reine Bou Fadel, Morgann Crozet, Gaëlle Giraudier, Annelise Gounon-Pesquet, Alexandre Henry, Laurence Hoffmann, Thu Hà Le Dang, Anne-Sophie Levert, Augustin Lherm, Pauline Marmin, Cécile Oriot

Directeur de la publication : **Camille Galap**

Directrices de la rédaction (par intérim) : **Gaëlle Degrez et Virginie Paris**

Responsable éditoriale : **Véronique Meder**

Rédactrice en chef : **Émeline Férard**

Rédacteurs et rédactrices : **Cindy Augusto Dos Santos, Sacha Barré, Margaux Deligne, Basile Desprez, Émeline Férard, Edwyn Guérineau**

Direction artistique : **Atelier Corbin/Corpus**

Illustration centrale : **Djilian Deroche**

Impression : **Imprimerie Stipa**

ISSN 2679-4845 (imprimé) - ISSN 2777 4007 (en ligne)

Dépôt légal à parution

Pour s'abonner au journal *L'Édition*
en format papier ou numérique :



La Fête de la science

à l'Université Paris-Saclay

Du 2 au 12 octobre 2026, l'Université Paris-Saclay a participé, avec le soutien de la Région Île-de-France, à la 35^e édition de la Fête de la science, organisée par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Espace. Cette année encore, l'événement a fait le plein de participantes et participants de tous âges, curieux de partir à la rencontre de la communauté scientifique et de découvrir le monde de la recherche de manière ludique. Pour cette édition placée sous le thème « Saveurs savantes », de multiples animations gratuites ont été proposées à travers les campus de l'université, pour explorer les liens entre sciences et alimentation, mais aussi bien d'autres thématiques. Retour en images sur ce rendez-vous devenu incontournable.



© Photo ci-dessus : Stéphane Maisonneuve

© Autres photos : Christophe Peus