

# L'Édition de l'université paris-saclay automne 2022

Numéro

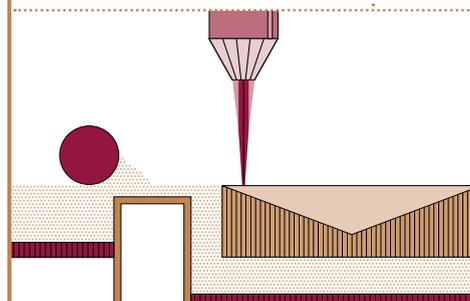
# 19

Rubrique et thématique

Recherche – Usine du futur

Page

16



Rubrique

Formation

Page

04

Rubrique et thématique

Recherche – Boson de Higgs  
et ondes gravitationnelles

Page

11

Rubrique et thématique

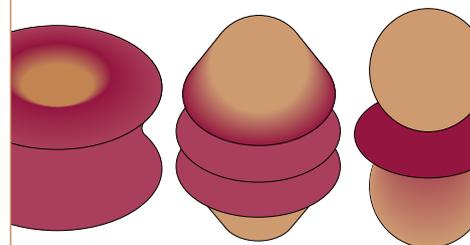
Recherche – Science ultrarapide  
attoseconde

Page

19

Titre

## DES PROGRAMMES TRANSVERSES POUR ENRICHIR LES PARCOURS DE FORMATION

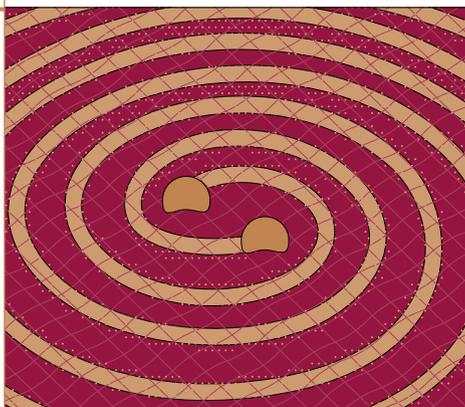


Rubrique

Médiation des sciences

Page

06



Rubrique

Vue d'ailleurs

Page

23

Titre

## JEUX SCIENTIFIQUES: UN SUPPORT DE MÉDIATION QUI A LA COTE!

Titre

## PARIS-SACLAY PRESIDENT AIMS FOR GLOBAL PROFILE

Rubrique et thématique

Recherche – Sols, plantes,  
cycle du carbone et climat

Page

08

Rubrique et thématique

Business & Innovation – Transition  
écologique

Page

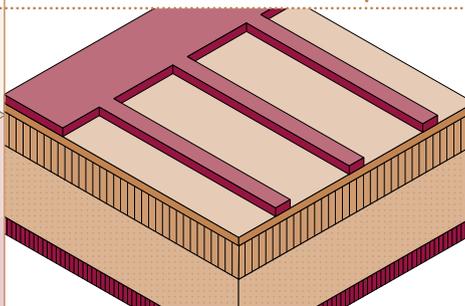
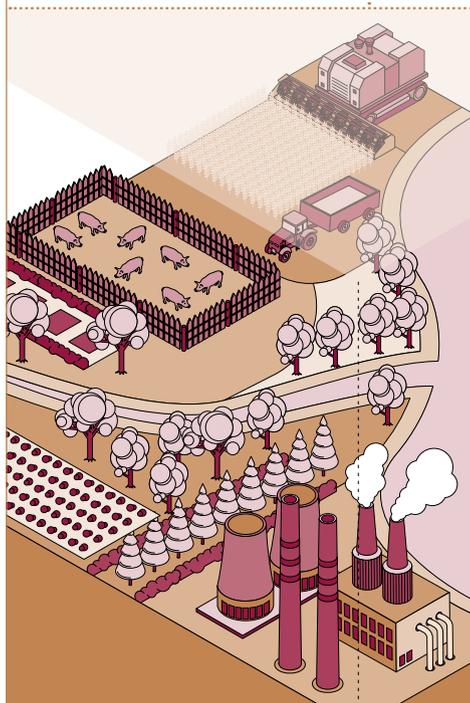
14

Rubrique

Vie de campus

Page

24



Titre

## PREMIÈRE RENTRÉE SUR LE CAMPUS AGRO PARIS-SACLAY

# université PARIS-SACLAY

Adresse

Bâtiment Breguet – 3 rue Joliot-Curie 91190 Gif-sur-Yvette – France

Site internet

[www.universite-paris-saclay.fr](http://www.universite-paris-saclay.fr)



## CHERCHEURS / CHERCHEUSES

**Agnès Barthélémy** et **Manuel Bibes**, de l'unité mixte de physique CNRS/Thales (UMPhy – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Thales), sont lauréats du **prix Europhysique EPS 2022** pour leurs contributions en physique de la matière condensée.

**Denis David**, enseignant-chercheur au sein du Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, Inserm) est lauréat d'un **2022 Schaefer Research Scholar Award** de la Columbia University, qui finance son projet de recherche portant sur la région CA3 de l'hippocampe et ses diverses implications.



© IHES

**Hugo Duminiel-Copin** s'est vu décerner la **médaille Fields** lors du 29<sup>e</sup> congrès international des mathématiques. Plus prestigieuse des distinctions dans le domaine des mathématiques, cette médaille honore le professeur permanent de l'Institut des hautes études scientifiques (IHES) et l'exemplarité de son parcours, dans le domaine de la physique statistique.



© CEA

**Lucie Hertz-Pannier**, pédiatre, radiologue et responsable de l'unité de recherche en neuro-imagerie applicative clinique et translationnelle (UNIACT – Univ. Paris-Saclay, CEA), a été décorée de la **médaille de Chevalier de l'ordre national du Mérite** en reconnaissance de sa carrière dédiée aux enfants porteurs de pathologies neurodéveloppementales.

**Elias Khan**, du Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité), **Nicolas Pavloff**, du Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques (LPTMS – Univ. Paris-Saclay, CNRS), et **Grégory Quenet**, du Centre d'histoire culturelle des sociétés contemporaines (CHCSC – Univ. Paris-Saclay, UVSQ), ont été **nommés membres seniors de l'Institut universitaire de France (IUF)** pour une durée de cinq ans. Six autres chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay ont également été nommés membres juniors de l'IUF.

**Denis Le Bihan** a été nommé **membre titulaire de l'Académie nationale de médecine**. Le médecin-physicien est spécialiste de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et de l'IRM de diffusion, et membre du centre de recherche en neuro-imagerie par IRM à très haut champ (NeuroSpin – Univ. Paris-Saclay, CEA).



© LPS

**Philippe Mendels**, du Laboratoire de physique des solides (LPS – Univ. Paris Saclay, CNRS), s'est vu décerner le **Grand prix scientifique 2022 de la Fondation Charles Defforey de l'Institut de France** pour ses travaux sur les propriétés exotiques émergentes des matériaux quantiques.

**Michel Beaudouin-Lafon**, du Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (LISN – Univ. Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, Inria), **Bertrand Maury**, du Laboratoire de mathématiques d'Orsay (LMO - Univ. Paris-Saclay, CNRS), **Frédéric Pierre**, du Centre de nanosciences et nanotechnologies (C2N – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité), et **Vincent Tatischeff**, du Laboratoire de physique des deux infinis - Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité), sont lauréats de la **médaille d'argent 2022 du CNRS**, qui distingue l'originalité, la qualité et l'importance de leurs travaux. S'ajoutent à cela **cinq chercheurs et chercheuses médaillés de bronze** pour la qualité de leurs premiers travaux, et **deux ingénieures médaillées de cristal** pour leurs contributions d'appui à la recherche.

## ÉTUDIANTS / ÉTUDIANTES



© SciencesPo

Une équipe composée d'**Inès Sedrati** et d'**Alex Vézina** (titulaires), de **Canelle Etchegorry** et d'**Anna Royneau** (suppléantes), tous étudiants et étudiantes en droit à l'Université de Versailles – Saint-Quentin-en-Yvelines, université membre-associée de l'Université Paris-Saclay, a remporté le **premier prix de la 17<sup>e</sup> édition du concours d'arbitrage international de Paris**. La première place de ce concours, composé d'une épreuve écrite de rédaction de deux mémoires, d'une épreuve de plaidoyer et d'une finale devant un tribunal arbitral simulé, offre une récompense de 8 000 €, un stage de six mois dans un cabinet prestigieux aux deux étudiantes titulaires du groupe et plusieurs ouvrages spécialisés.



© ECOTROPHELIA

À l'occasion de la 23<sup>e</sup> édition du concours ECOTROPHELIA France, l'innovation alimentaire **Fan de Fanes**, portée par des étudiantes et étudiants d'AgroParisTech, a été récompensée de deux prix. Cette innovation culinaire, qui consiste à utiliser des fanes de carottes landaises et de l'Ossau-Iraty AOP pour créer une sauce façon pesto, a reçu le **Trophéa de bronze** et le **prix Coup de cœur du Grand Nancy**.

## ENTREPRISES / PROJETS

Deux projets de start-up du Département médicaments et technologies pour la santé (DMTS – Univ. Paris-Saclay, CEA) se sont distingués au concours d'innovation i-Lab, organisé par l'État en partenariat avec Bpifrance. **Le projet V4 AQUA** a reçu l'**un des dix grands prix de l'édition**, tandis que **I-Ther Platform** a été couronné **lauréat national d'i-Lab 2022**.



© Univ. Paris-Saclay / Christophe Peus

S'il est bien un moment que nous affectionnons particulièrement dans la vie de notre Université, c'est celui du retour de nos étudiantes et étudiants dans les allées de nos campus après leur pause estivale, quand cette communauté reprend possession de ses amphithéâtres et salles de cours, et quand nos laboratoires s'animent et bourdonnent à nouveau de leurs activités de recherche toujours aussi passionnantes. La vie reprend sur tous nos campus, redonnant à notre Université toutes ses lettres de noblesse.

Et en cette rentrée universitaire 2022/2023, notre campus du plateau de Saclay accueille les étudiantes, étudiants et personnel de recherche de la Faculté de pharmacie – précédemment à Châtenay-Malabry –, de l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (ICMMO), ainsi que les masters de chimie et de biologie de l'Université, qui quittent leurs locaux pour intégrer ceux flambants neufs du site Henri Moissan. Il s'agit également de la première rentrée universitaire sur le nouveau campus Agro Paris-Saclay, à Palaiseau.

Le 15 août dernier, l'Université Paris-Saclay a été confortée dans sa position d'université de recherche de rang mondial. Pour la troisième année consécutive, notre Université figure dans le Top 20 du classement de Shanghai (*Academic Ranking of World Universities – ARWU*) et s'installe durablement dans le paysage des meilleures universités de recherche. Par ailleurs, elle conserve sa 1<sup>re</sup> place mondiale en mathématiques dans le classement par thématique (*Global Ranking of Academic Subjects – GRAS*) publié un mois auparavant. Elle occupe toujours la 9<sup>e</sup> place mondiale en physique et se classe 11<sup>e</sup> en sciences agronomiques. L'Université Paris-Saclay occupe également le Top 50 dans plusieurs autres disciplines : médecine clinique (20<sup>e</sup> mondiale), statistiques (25<sup>e</sup> mondiale), ingénierie des télécommunications (25<sup>e</sup> mondiale), biotechnologie (30<sup>e</sup> mondiale), automatique et contrôle (34<sup>e</sup> mondiale), sciences de la Terre (48<sup>e</sup> mondiale) et ingénierie mécanique (49<sup>e</sup> mondiale).

Encore une fois, ces résultats nous honorent, comme ils nous engagent : l'Université doit plus que jamais former des scientifiques et des décideurs capables d'imaginer et de porter des réponses aux défis auxquels nos sociétés devront faire face.

Face à la hausse des températures et aux bouleversements climatiques dus aux activités anthropiques, il s'agit de prendre rapidement des mesures efficaces. En continuité de leurs projets scientifiques, nos scientifiques se mobilisent de toutes parts. Vous découvrirez dans ce numéro de *L'Édition* plusieurs initiatives de recherche visant à mieux stocker le carbone dans les sols et protéger le fragile équilibre sol/plante, pour se préparer aux aléas climatiques à venir. Vous y trouverez aussi les initiatives et forces en place à l'Université en matière de transition écologique.

Ce numéro célèbre également un anniversaire très particulier : celui des dix ans de la découverte du boson de Higgs, la dernière pièce manquante du modèle standard de physique des particules. Notre journal revient sur les conséquences de cet événement majeur et en profite pour aborder un autre grand événement scientifique de ces dernières années : la première observation, en 2015, d'ondes gravitationnelles provenant de la fusion de deux trous noirs grâce aux interféromètres LIGO et Virgo.

Sont également mis à l'honneur dans ce numéro des résultats importants en science ultrarapide attoseconde, l'usine du futur et l'apport de la fabrication additive et du jumeau numérique dans cette nouvelle façon d'envisager les productions industrielles.

Bonne lecture et très belle rentrée à tous et toutes !

**Estelle Iacona,**  
Présidente de l'Université Paris-Saclay.



Titre

# Des programmes transverses pour enrichir les parcours de formation



© CDAO – Université Paris-Saclay



© SayFood



© Michel Denance

**C'est pour répondre aux besoins de compétences et de connaissances nouvelles des étudiantes et étudiants de l'Université Paris-Saclay que sont nés en 2021 les programmes transverses. Courts, évolutifs et potentiellement distribués sur plusieurs Graduate Schools de l'Université, ils mobilisent des compétences adossées à la recherche, en lien avec des thématiques phares et au service d'enjeux sociétaux.**

Imaginé lors de la création des Graduate Schools comme un format innovant mis à la disposition des communautés souhaitant proposer une offre de formation complémentaire, interdisciplinaire ou transverse au service d'enjeux sociétaux, les programmes transverses s'inscrivent dans une démarche expérimentale, tant en termes de construction que de contenus. «*Agiles dans leur création et non pérennes, ils ne se limitent pas au suivi de quelques unités d'enseignement supplémentaires mais sont portés par une volonté d'innovation pédagogique. Une exigence qui se traduit dans les faits par une offre d'activités variées – UE*

*classiques mais aussi écoles d'été, projets, stages – donnant accès, une fois validées, à un certificat ou à un diplôme universitaire (DU)»,* explique Claire Lartigue, vice-présidente adjointe en charge des masters de l'Université Paris-Saclay. En ce qui concerne l'offre de formation en tant que telle, des modalités différentes renvoient au mieux aux besoins identifiés. «*Soit les programmes transverses s'appuient sur un espace pédagogique commun pour répondre à des enjeux sociétaux comme la transition écologique, soit ils proposent un parcours sur une thématique transverse ou très interdisciplinaire non couverte par une offre de formation de type master, soit ils offrent des compétences complémentaires en termes de soft skills comme l'entrepreneuriat ou l'interculturalité. Le point commun de ces différentes modalités est d'être toujours fortement adossées à la recherche»,* ajoute Claire Lartigue.

## **Agir pour le climat : un DU au service de la transition climatique**

Premier programme transverse né l'an passé dans le prolongement de l'objet interdisciplinaire *Alliance For Climate Action Now!* (ALLCAN), le DU «*Agir pour le climat*», coordonné par la Graduate School Sciences de l'ingénierie et des systèmes, a pour ambition de

former et d'acculturer un nombre important d'étudiantes et d'étudiants aux problématiques de la transition climatique. «*L'idée est de tirer parti des initiatives interdisciplinaires déjà mises en place dans le domaine de l'environnement et d'aller plus loin en structurant les apprentissages autour d'un projet avec un volet action climat prononcé»,* précise Jeanne Gherardi, enseignante-chercheuse à l'UVSQ et co-responsable de ce programme. Ouvert aux étudiantes et étudiants de niveau master 1, master 2, d'écoles d'ingénieur ou en doctorat, soit en parallèle, soit en prolongement de leur formation, ce DU s'obtient à l'issue de deux semestres successifs : un premier semestre organisé autour de neuf unités d'enseignement théorique portant sur des thématiques telles que le changement climatique, l'économie circulaire, le droit de l'environnement ou encore la gouvernance ; un second semestre consacré à la réalisation d'un projet par groupe répondant à un défi lié aux enjeux de la transition et de l'action en faveur du climat. «*Avec cette approche interdisciplinaire et grâce à l'appui des chercheurs et des chercheuses impliquées, notre volonté est d'accompagner nos étudiantes et étudiants dans la construction d'un langage commun, de les rendre en capacité de mobiliser*



différentes disciplines dans les projets professionnels qu'elles et ils auront à mener, et de leur fournir une vision systémique indispensable pour appréhender les enjeux des transitions écologique et climatique », ajoute Jeanne Gherardi.

### **BioProbe : un programme complémentaire pour se former par la recherche**

Promouvoir des projets innovants en chimie et en physique pour l'étude de processus biologiques en milieu complexe en vue d'applications pour le diagnostic et l'imagerie : tel est l'objectif affiché par l'objet interdisciplinaire BioProbe, porté par les Graduate Schools Chimie, Physique, *Life Sciences and Health*, et *Health and Drug Sciences*. « Pour atteindre cet objectif, nous avons besoin que nos étudiantes et étudiants soient en capacité de travailler à l'interface des disciplines, d'en comprendre le fonctionnement et les questionnements scientifiques. C'est pourquoi nous leur proposons, entre leurs deux années de master, de consolider leur formation par la recherche au travers de deux stages de cinq à six mois dans les laboratoires du périmètre de BioProbe, d'acquérir des connaissances scientifiques dans une discipline complémentaire de leur formation initiale via une soixantaine d'heures d'enseignement théorique et ainsi d'avoir toutes les cartes en mains pour construire un projet professionnel solide, réussir leur master et intégrer dans les meilleures conditions une école doctorale », indique Marie Erard, coordinatrice du programme complémentaire personnalisé BioProbe. Concrètement, chaque étudiante et étudiant du programme est accompagné par un enseignant ou une enseignante référente qui l'aide à identifier les laboratoires du périmètre de l'Université Paris-Saclay susceptibles de l'accueillir en stage et à choisir les enseignements adaptés à son projet d'étude et professionnel. « Du fait des nombreux échanges qu'il permet, ce programme contribuera par ailleurs largement à vivifier le volet recherche de BioProbe », ajoute Marie Erard.

### **Le DU Recherche-création de l'ENS Paris-Saclay désormais ouvert à tous et toutes**

Autre programme transverse né dans le giron de la Graduate School Métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur : le DU Recherche-création (ARRC). À l'interface entre arts, sciences et technologies, cette formation initialement portée par l'ENS Paris-Saclay s'appuie sur la programmation et les ressources de la Scène de recherche pour offrir aux étudiantes et étudiants une démarche pédagogique innovante. Ainsi, un premier semestre de cours théoriques (en épistémologie, histoire de l'art ou des sciences), de cours pratiques (en programmation,

robotique, sonorisation immersive, etc.) et d'expéditions sur le terrain se conclut par la réalisation d'un projet collectif croisant différentes compétences pour aboutir à la livraison d'un prototype. « L'an passé, nous avons été particulièrement impressionnés par la diversité et la qualité des prototypes qui nous ont été présentés », se souvient Volny Fages, responsable du DU ARRC. Un second semestre comprend un stage de quatre à six mois. Et c'est avec beaucoup d'enthousiasme que l'équipe du DU ARRC et ses nombreux partenaires – le Centre Pompidou, le 104, l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (IRCAM), le Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) et le théâtre de la Ville – envisagent cette nouvelle année. « Plus que jamais, notre ambition est de mettre en œuvre une interdisciplinarité radicale pour faire de nos étudiantes et étudiants de meilleurs chercheuses et chercheurs. Nous avons également à cœur de permettre à chacun et à chacune de développer une réflexion critique sur le rôle des sciences et des technologies dans les sociétés contemporaines », conclut Volny Fages.

À noter : Le programme AVERROES vise à former une génération de leaders de la recherche, de l'innovation biomédicale et des politiques de santé. Ce programme transverse très original est ouvert aux étudiantes et étudiants issus de parcours scientifiques hors santé, et aux étudiantes et étudiants en médecine et pharmacie qui souhaitent compléter leur formation en sciences fondamentales ou humaines et sociales.

Titre

### **Master QUARMEN : à la pointe de la physique quantique**

Spécialisé en sciences et technologies quantiques, le Master Erasmus Mundus QUARMEN (*Quantum Research Master Education Network*) ouvre ses portes en septembre 2022 et accueille une vingtaine de personnes. Avec ses enseignements de pointe et ses partenaires publics et privés, comme les start-up françaises Pasqal ou Quandela, QUARMEN forme de futurs chercheurs et chercheuses, ingénieurs et ingénieures, ou entrepreneurs et entrepreneuses de haut niveau. « Les technologies quantiques sont des priorités nationales et européennes en recherche et formation » rappelle Marino Marsi, responsable du parcours et chercheur au Laboratoire de physique des solides (LPS – Univ. Paris-Saclay, CNRS).

Impliquant quatre universités (Paris-Saclay, Porto, Sapienza de Rome et Toronto), les étudiantes et étudiants inscrits suivent un parcours international qui combine mobilité géographique et cohérence pédagogique, avec au minimum deux semestres de cours dans deux universités différentes. Les masters liés à ce parcours sont le master 1 *General Physics* et le master 2 *Quantum, Light, Materials and Nanosciences* de l'Université Paris-Saclay, et les masters en physique et information quantiques des Universités de Porto, Rome et Toronto. « À la fin du parcours, la personne obtient le diplôme de chaque université où elle a passé au moins un semestre », précise Marino Marsi. Les places sont limitées mais des bourses annexes sont possibles. Le prérequis est d'avoir des bases solides en physique quantique.

<https://www.master-quarmen.eu/>

Titre

### **L'International School on Ultrafast X-ray Science 2022 à Paris-Saclay**

L'Université Paris-Saclay, en partenariat avec Politecnico di Milano (Italie) et Ohio State University (États-Unis), organise une École internationale sur la science des rayons X ultrarapides du 10 au 14 octobre 2022, en direction des étudiantes et étudiants de master et doctorat, et des jeunes chercheurs et chercheuses. Elle se tiendra au Centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité). Après des éditions organisées à Erice (Italie) en 2017 et 2019 et à l'Université Paris-Saclay en 2018, cette formation se déroule pour la première fois conjointement sur le campus de l'Université. Son ambition est de réunir des conférencières et conférenciers de la science ultrarapide, à la fois reconnus et pédagogues. Elles et ils proposeront une introduction aux concepts fondamentaux des rayons X ultrarapides et de la science attoseconde, et une ouverture vers leurs applications. Le principe de la discipline est « d'initier et de sonder les dynamiques extrêmement rapides dans la matière », résume Thierry Ruchon, chercheur au Laboratoire interactions, dynamiques et lasers (LIDYL – Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS) et membre du comité d'organisation. Ses enjeux scientifiques et techniques concernent l'amélioration drastique du stockage d'énergie ou de la vitesse des processeurs de demain.

<https://ultrafast2022.sciencesconf.org/>



Titre

## Écouter, sentir et effleurer la science

Pour plonger le public dans l'ambiance d'un laboratoire d'agronomie, Marine Froissard, chercheuse à l'Institut Jean-Pierre Bourgin (IJPB – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParis-Tech), a invité plusieurs artistes à le découvrir et à en retranscrire l'atmosphère. Le rendu final est une exposition qui combine des photographies de Dan Ramaën, une création sonore d'Olivier Dizet et des fragrances originales créées par des étudiantes et étudiants en master de parfumerie. « *C'est une ouverture sur le monde de la recherche, qui fait la part belle à la sensation* », explique la chercheuse. Le public interagit avec certaines œuvres : il soulève une cloche pour humer un parfum, manipule la maquette d'un bourgeon en croissance... Le format s'adresse à un public diversifié, y compris les familles et les personnes porteuses d'un handicap. L'exposition fera étape au centre INRAE Île-de-France – Versailles-Saclay pour les journées du patrimoine 2022, et à la Bibliothèque universitaire Saint-Quentin-en-Yvelines pour la Fête de la science 2022.

Titre

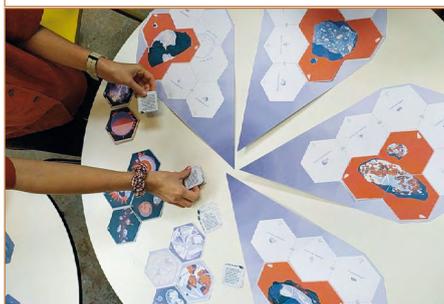
## La science du décryptage au festival Vo-Vf

Du 30 septembre au 2 octobre 2022 à Gif-sur-Yvette (Essonne), le festival Vo-Vf fêtera ses dix ans. Conférences littéraires côtoieront séances de cinéma, lecture de conte, atelier manga et joutes de traduction. Le public apprendra à déchiffrer un texte dans une langue étrangère inconnue, comme l'ukrainien, et sera sensibilisé aux langues en voie de disparition. Trois rencontres montreront que la traduction peut aussi être scientifique. David Bessis, auteur du livre de vulgarisation *Mathematica*, partagera sa passion des mathématiques. « *On trouve dans son ouvrage les questions de la transmission et de l'ouverture, qui représentent l'esprit du festival* », indique Hamidou Soumare de l'équipe organisatrice. Les amateurs et amatrices d'astronomie découvriront le livre de l'astrophysicien néerlandais Heino Falcke sur la première photographie d'un trou noir, dont l'édition française est le fruit du travail de la traductrice Corinna Gepner et de l'astrophysicien Mathieu Langer, de l'Institut d'astrophysique spatiale (IAS – Univ. Paris-Saclay, CNRS).

<https://www.festivalvo-vf.com/>

Titre

# Jeux scientifiques : un support de médiation qui a la cote !



© Florian Delcourt – S[cube]

**Une formation, portée par la Diagonale Paris-Saclay et l'association S[cube], a réuni des scientifiques de l'Université Paris-Saclay afin de les accompagner dans la création de jeux s'appuyant sur leurs recherches.**

Apprendre les sciences en s'amusant : impossible ? « *Sûrement pas !* », répondent en cœur la Diagonale Paris-Saclay et son partenaire de longue date, l'association de médiation scientifique S[cube] basée aux Ulis (Essonne). Après avoir monté le salon *Faites vos jeux [scientifiques]*, dont la première édition a eu lieu en mars 2022, la Diagonale Paris-Saclay et S[cube] ont récemment mis en place un dispositif de formation inédit à destination du personnel de recherche de l'Université Paris-Saclay et de son écosystème. Elles ont proposé aux scientifiques intéressés un accompagnement à la création de jeux scientifiques en lien avec leurs travaux de recherche. Cette formation au *game design*, d'une durée de trois jours non consécutifs, a eu lieu entre fin mai et fin juin 2022. Quatre projets, sélectionnés parmi une dizaine de postulants, y ont participé. Tous concernent des jeux de plateau.

### Des thématiques de jeu originales

Le projet d'Anais Brosse, de l'Institut Microbiologie de l'alimentation au service de la santé humaine (MICALIS – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech), propose de s'intéresser au microbiote intestinal. Il cherche à montrer la diversité des microorganismes présents dans l'intestin, l'influence du microbiote sur la santé et l'impact des aliments et substances ingérés. Celui de Samuel Hybois, du laboratoire Complexité, innovation, activités motrices et sportives (CIAMS – Univ. Paris-Saclay, Univ. d'Orléans), présente l'ensemble des outils et types de mesure utilisés en sciences du mouvement et les grandeurs mesurées.

Porté par Flavie Mauvais, du programme de sciences participatives Vigie-Ciel, le troisième projet aborde la question des météorites tombées du ciel en France. Son objectif est de montrer qu'il en existe de plusieurs types et qu'il est possible, en les analysant, d'en raconter l'histoire. Enfin, le projet de Charlotte Heinzlef, du laboratoire Cultures, environnements, Arctique, représentations, climat (CEARC – Univ. Paris-Saclay, UVSQ), traite de la gestion des risques (d'inondation par exemple), des prises de décision en amont, pendant et après ce risque, et des métiers concernés. Jeu puzzle, de cartes, de rapidité, memory coopératif... Les formats envisagés sont à chaque fois différents.

### Un prototype jouable

Au fur et à mesure, les participantes et participants ont progressivement su mieux délimiter l'expérience joueur et élaborer un prototype, et l'ont testé autour d'eux puis entre eux. Enfin, elles et ils ont rencontré des *game designers* professionnels afin de se projeter dans l'avenir. « *L'idée était d'avoir à la fin quelque chose qui soit jouable. C'est le cas, même s'il reste encore du travail pour envisager une diffusion très large, voire une commercialisation* », déclare Florian Delcourt, responsable de l'ingénierie culturelle à S[cube] et de la formation.

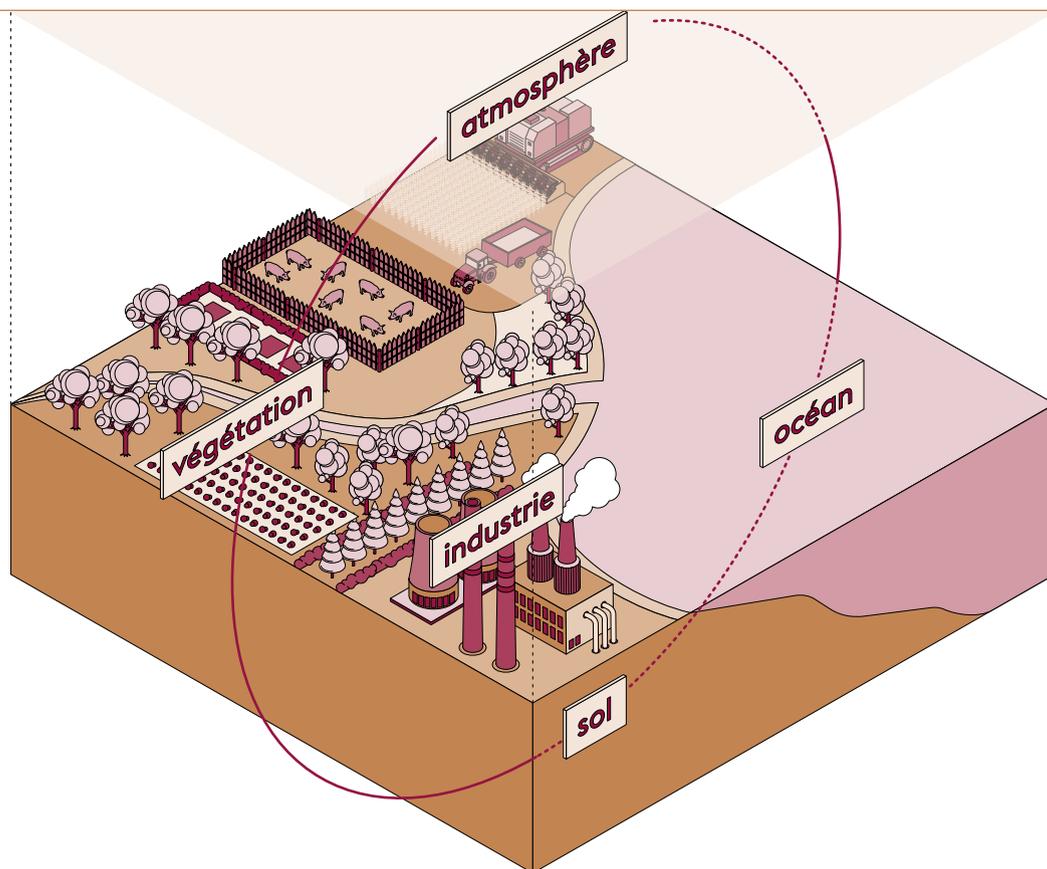
Participantes, participants et formateurs ont prévu de se rencontrer en septembre afin de dépasser les dernières problématiques et d'envisager des tests grandeur nature. Un accompagnement financier au cas par cas et une aide à la diffusion sont également en cours de réflexion auprès de la Diagonale. Une deuxième session de formation est à l'étude pour 2023.



Titre

# Concilier carbone, plante, sol et climat

CYCLE DU CARBONE



**Quatrième élément le plus abondant sur Terre, le carbone est partout. Or, ses fonctions peuvent différer selon son environnement. Sous forme de gaz dans l’atmosphère, il participe au réchauffement climatique. Mais quand il est absorbé par les sols, notamment grâce aux plantes, il devient essentiel à la santé et à la fertilité des terres agricoles. Pourrait-il alors se dessiner un enjeu multiple à mieux stocker le carbone dans les sols ?**

Les terres émergées représentent environ un tiers de la surface terrestre. En juin 2020, les membres du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (Giec) publient un rapport spécial *Changement climatique et terres émergées* dans lequel les scientifiques du monde entier indiquent qu’un quart de ces terres est considéré comme dégradé, et que les trois quarts des terres émergées subissent une exploitation ou une occupation anthropique. Usés, ignorés, maltraités, les sols abritent pourtant une large partie

de la biodiversité de la planète : en 2010, des scientifiques mandatés par une commission européenne établissent à cette époque que l’ensemble des terres accueille environ un quart de la biodiversité totale.

Afin de maintenir cette biodiversité terrestre, il est indispensable de se préoccuper de la santé des sols. Par définition, un sol en bonne santé ne pollue pas son environnement à cause d’éléments toxiques dans sa composition et offre des qualités de fertilité, notamment par la présence abondante de microorganismes multiples. Ces derniers sont des organismes vivants de taille microscopique. Des bactéries ou certains champignons figurent parmi les microorganismes les plus présents dans les sols. Ils composent la matière organique vivante des sols de la planète. Dans la matière organique des sols (MOS), on trouve également des composés végétaux ou animaux de toutes sortes (racines, cadavres, etc.) et des produits en décomposition. Cette MOS ne représente que jusqu’à 10 % de la masse totale des sols, mais elle a un rôle essentiel à jouer sur leur santé. Un sol appauvri en matière organique est fragilisé, sensible aux érosions et peu fertile.

C’est dans ce contexte qu’en 2015, au cours de la conférence de Paris sur les changements climatiques (COP21), se crée l’initiative « 4 pour 1 000, les sols pour la sécurité alimentaire et le climat » : un programme d’amélioration de la teneur en MOS et d’encouragement de la séquestration de carbone dans les sols. Le but de l’initiative est d’augmenter le taux de carbone dans les sols de 0,4 % par an. Une triple ambition se cache derrière l’augmentation des MOS : la capture du carbone dans les sols les rend plus fertiles et donc plus à même de répondre aux enjeux de sécurité alimentaire qui se présenteront à l’humanité au cours du siècle prochain, tout en limitant le réchauffement climatique.

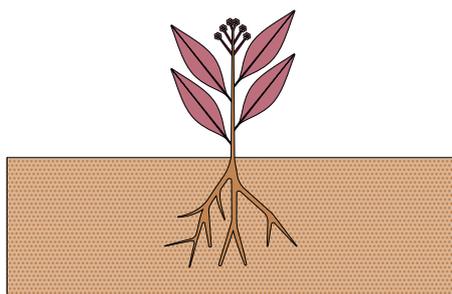
## Cycle du carbone et activités anthropiques

Les plantes ont un rôle essentiel à jouer pour maintenir la santé des sols, car elles sont un acteur majeur du cycle du carbone sur la Terre. Les échanges de carbone entre les sols et l’atmosphère ont lieu avec le concours des plantes et font partie du cycle global du carbone sur la planète. Il est en effet possible de diviser la planète en quatre systèmes : l’atmosphère (l’ensemble des gaz qui enveloppe

la planète), l'hydrosphère (les océans, mers et cours d'eau), la biosphère (les êtres vivants, animaux et végétaux) et la lithosphère (les couches superficielles du sol), qui constituent chacun des réservoirs de carbone. Ce carbone fluctue de manière constante et naturelle entre les réservoirs planétaires : grâce à la photosynthèse, les plantes absorbent par exemple du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) présent dans l'atmosphère et y rejettent du dioxygène ( $\text{O}_2$ ), avant de rejeter du  $\text{CO}_2$  par respiration nocturne.

Sans prendre en compte les activités humaines, ce cycle est à l'équilibre. Or, de nombreuses activités anthropiques menacent directement et indirectement cette stabilité. L'artificialisation des sols en est le parfait exemple. Pour fabriquer du béton, il est nécessaire de puiser dans les stocks de craie et d'autres minéraux similaires issus des réserves de carbone de l'hydrosphère. La création de béton et son utilisation induisent le rejet en immenses quantités de carbone dans l'atmosphère. D'autant plus qu'une fois un territoire bétonné, il n'y a plus d'apports ni en matières organiques végétales, ni en eau aux sols concernés, et les microorganismes finissent par disparaître. Par ailleurs, les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel) issus de la lithosphère sont consommés par les êtres humains (consommation qui libère également des gaz carboniques dans l'atmosphère) à une vitesse dépassant largement celle de leur fabrication naturelle. Les perturbations anthropiques du cycle du carbone sont nombreuses et contribuent directement au dérèglement climatique, à l'appauvrissement des ressources des sols et à l'acidification des océans.

### Peut-on mieux fertiliser les sols ?



Afin de continuer à utiliser les sols fragilisés, notamment pour l'agriculture, il est important de mettre en place des mesures, comme celles de l'initiative 4 pour 1000, permettant leur sauvegarde. Au sein du laboratoire Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (Ecosys – Univ. Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE), Sabine Houot étudie les produits résiduels organiques et leurs valorisations possibles. « Les produits résiduels organiques se définissent comme étant tous types

de matières organiques. Le fumier par exemple, composé de litière et de fèces d'animaux, ainsi que d'autres sous-produits de l'élevage (notamment issus d'une autre activité anthropique), peuvent être valorisés en agriculture avec ou sans transformation préalable (transformation par compostage, méthanisation, etc.), explique la chercheuse. Si l'on transforme le fumier, cela devient alors un digestat, qui n'est plus un produit résiduel organique. En revanche, à travers la méthanisation qui consiste à dégrader la matière organique en absence d'oxygène, il est possible de produire de l'électricité. De plus, les digestats obtenus sont de très bons fertilisants. »

Concernant la fertilisation des sols agricoles, la chercheuse déplore un cycle coûteux en énergie, alors que des solutions plus bénéfiques à l'environnement existent. « Les grandes cultures sont fertilisées à base de sels minéraux, ce qui nécessite beaucoup d'énergie. Les êtres humains consomment ces cultures et ces sels minéraux fertilisants par la même occasion. Ces derniers sont rejetés dans nos fèces, puis éliminés par épuration des eaux usées, un principe polluant et à faible efficacité. C'est du gâchis, avance Sabine Houot. Des recherches récentes montrent que, dans toute l'urine produite en Île-de-France, il y a assez d'azote pour fertiliser toutes les cultures de la région. Et leur réutilisation directe par recyclage serait nettement moins polluante que leur traitement. En effet, l'azote se présente sous sa forme ammoniacale ( $\text{NH}_4$ ) dans les urines et digestats. Cet azote se transforme facilement en  $\text{NH}_3$ , qui joue sur la qualité de l'air. Pour limiter la volatilisation de l'azote de nos urines et digestats, il faut l'enfouir dans nos sols le plus rapidement possible. »

### Équilibre entre apport et consommation du carbone par la plante

Lorsque l'on observe de plus près les interactions entre plantes et carbone, il est facile de croire que le carbone est transféré vers la lithosphère principalement par les feuilles et les parties supérieures de la plante : lorsque celles-ci meurent, elles rejoignent la terre et y sont lentement absorbées, avec le carbone qui les compose. « Tout d'abord, il faut savoir que les apports de carbone au sol par les plantes ne s'effectuent pas uniquement via la litière, comme on pourrait l'imaginer », réfute Christine Hatté, géochimiste au sein du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE – Univ. Paris-Saclay, CNRS, CEA, UVSQ). La litière est cet ensemble de feuilles et d'autres débris végétaux qui s'accumule au sol puis s'y incorpore pour créer la matière organique des sols, en quantités moindres selon la chercheuse. « Le fait que des feuilles se déposent au sol et s'y décomposent, apportant ainsi du carbone, ne

contribue pas de manière majoritaire à l'apport du carbone dans les sols, précise Christine Hatté. Le carbone est apporté dans les sols essentiellement par les racines des plantes. Alors qu'elle croît, une plante exsude principalement des sucres et acides aminés, attirant ainsi des microorganismes en leur fournissant de l'énergie. Grâce à cette énergie, les microorganismes libèrent à leur tour des sels nutritifs, essentiels aux besoins de la plante. C'est un système symbiotique. »

Les microorganismes des sols consomment les produits moléculaires de l'exsudation de la plante dans le sol mais également des molécules organiques présentes dans les sols depuis plus longtemps. « Or, à chaque fois qu'une nouvelle molécule est introduite dans le sol, une partie de son carbone sera rejetée sous forme de  $\text{CO}_2$ . Finalement, à chaque fois que l'on apporte du carbone dans le sol, on en fait partir dans des quantités assez égales. L'enjeu est de trouver des lignées de plantes capables de stocker plus de carbone dans le sol qu'elles n'en retirent et de promouvoir des pratiques agricoles vertueuses. »

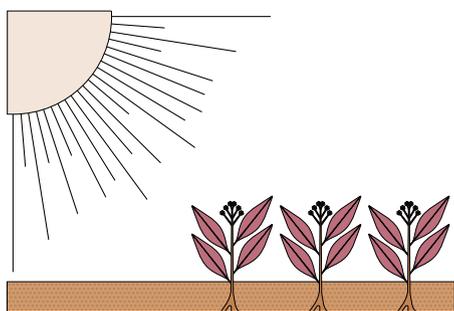
La capacité de transfert de carbone au sol selon la lignée a d'ailleurs fait l'objet d'une récente étude codirigée par Christine Hatté. Grâce à une méthode de double marquage isotopique à l'aide du carbone 13 et du carbone 14, il est possible de reconstituer les transferts de carbone entre la plante et le sol. Les isotopes utilisés sont des « variants » du carbone, présentant un nombre de neutrons différent (en l'occurrence 13 ou 14) de celui du carbone le plus largement répandu (12). Cette infime différence assure un traçage précis du carbone au cours de réactions chimiques, biochimiques ou physiques (comme ici, entre la plante et le sol). « Notre méthode isotopique nous a tout d'abord permis de mesurer la quantité de carbone introduite par des plantes, d'évaluer la quantité de carbone ressortie, mais aussi d'évaluer l'âge de ce carbone rejeté par le sol. En effet, le carbone qui sort du sol n'est pas forcément celui qui avait été introduit par la plante. Si c'est le cas, ce n'est pas très grave. En revanche, si c'est un carbone bien plus ancien qui est rejeté sous forme de  $\text{CO}_2$ , tellement ancien qu'il n'était plus comptabilisé dans le cycle actif du carbone, cela devient problématique. »

Les composés exsudés par les racines des plantes conduisent en outre à la formation de « manchons » enrobant ces racines, ce qui leur octroie une protection contre d'éventuelles sécheresses affectant les sols. « Ces exsudats apparaissent systématiquement, peu importe le type de plante que l'on utilise. En revanche, toutes les plantes n'ont pas les mêmes capacités d'exsudation », explique la chercheuse. Aussi, la plante a de fortes capacités d'adaptation à son environnement : « une même plante, semée



dans deux sols différents ou dans deux climats différents, ne va pas se développer de la même façon. Par exemple, si une plante est présente dans un environnement où les risques de sécheresse sont importants, son exsudation sera plus importante que dans un environnement moins sec, pour mieux se protéger grâce aux manchons. Les feuilles seront également moins développées, pour limiter les pertes en eau ». Grâce à ce type d'étude, il est possible d'identifier quelle est la plante qu'il est le plus stratégique de planter dans un environnement donné. Ces informations sont essentielles pour adapter les cultures aux sols et au changement climatique.

### Est-il possible d'adapter les sols et les plantes au réchauffement climatique ?



L'été 2022 a été le théâtre de nombreuses et d'insoutenables vagues de chaleur dans de nombreuses régions du monde. Celles-ci sont la conséquence du dérèglement climatique causé par les êtres humains et ont eu des répercussions très grave sur les sols terrestres. Près de l'Université Paris-Saclay, dans les champs de Villiers-le-Bâcle (Essonne), les cultures de féverolle ont littéralement grillé sous le soleil durant la première vague de chaleur de juin 2022. Pourtant, d'après le Giec, cet été sera l'un des plus « frais » des années à venir. Au-delà de la lutte contre le réchauffement climatique, il est donc également devenu impératif d'adapter les cultures et les sols aux répercussions, déjà existantes et à venir, du dérèglement climatique.

Au LSCE, Nathalie De Noblet-Ducoudré se questionne sur le rôle de l'occupation des sols sur le climat. La climatologue s'inquiète des stratégies actuellement mises en place pour lutter contre le réchauffement climatique : « La reforestation à tout prix n'est pas la solution, déclare-t-elle. Tout d'abord, revégétaliser, ce n'est pas replanter n'importe quel arbre n'importe où : si l'on se trompe de variété de végétal au moment de la plantation, on encourt des risques de pertes en biodiversité, ce qui dessert la cause première. Il y a une vision solutionniste de la revégétalisation : sommes-nous capables, dans un contexte de recherches, de prendre les bonnes décisions ? », se questionne la chercheuse.

« Comment une végétalisation peut-elle alimenter en eau une masse d'air ? poursuit la scientifique. Actuellement, j'étudie la relation existant entre deux zones de précipitations, les précipitations du second endroit provenant du premier. Je me demande s'il est possible de dire qu'une zone doit être végétalisée pour qu'une autre puisse ensuite être alimentée en eau. J'étudie aussi l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture : avec quel degré de certitude est-il possible d'affirmer aux agriculteurs et agricultrices que leurs récoltes risquent de subir à l'avenir le même sort que la féverolle de Villiers-le-Bâcle, et ce plus fréquemment ? »

Pour l'heure, le déficit hydrique des sols demeure prégnant, alors que tous les yeux se tournent vers le ciel, à la recherche d'un nuage de pluie.

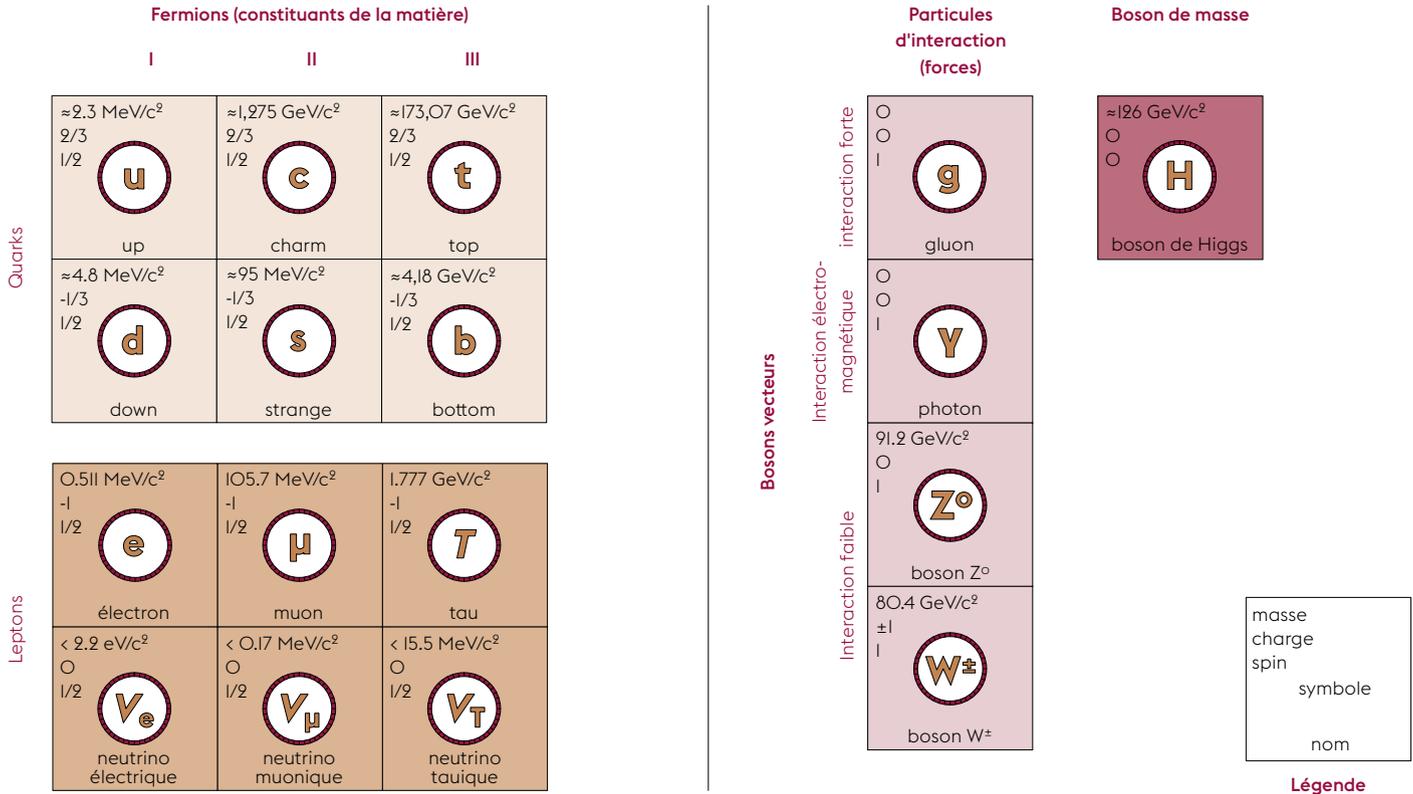
### Publications

- N. Puche *et al.* Mechanisms and kinetics of (de-) protection of soil organic carbon in earthworm casts in a tropical environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 170, 2022.
- S. Houot, *et al.*, Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. *Rapport pour le ministère de l'Agriculture*. 2014.
- P. M. S. Ndour *et al.*, Rhizodeposition efficiency of pearl millet genotypes assessed on a short growing period by carbon isotopes ( $^{13}C$  and  $F^{14}C$ ). *SOIL*, 8, 49-57, 2022.
- N. de Noblet-Ducoudré *et al.* Terrestrial Processes and Their Roles in Climate Change. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2021.

Titre

# La découverte du boson de Higgs fête ses dix ans

MODÈLE STANDARD DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES



**En 2012, les chercheurs et chercheuses du Centre européen de recherche nucléaire (Cern) font sensation en annonçant la découverte du boson de Higgs, ultime particule élémentaire. Dix ans après, quelles sont les conséquences d'un tel événement pour la physique des particules? Les physiciennes et physiciens de l'Université Paris-Saclay répondent.**

«Je pense que nous l'avons.» Le 4 juillet 2012, au siège du Cern à Genève, le directeur général du centre international de recherche Rolf-Dieter Heuer annonce par ces mots, devant une immense assemblée, la découverte d'une nouvelle particule subatomique, dont les quelques caractéristiques alors connues l'apparentent, avec une très grande fiabilité, au boson théorisé par Peter Higgs en 1964. Le chercheur britannique, présent en Suisse lors de l'annonce de la découverte du boson qui porte aujourd'hui son nom, reçoit d'ailleurs en 2013 le prix Nobel de physique pour ses travaux ayant amené à la découverte de cette nouvelle particule.

L'annonce de juillet 2012 fait l'effet d'un tremblement de terre dans la communauté scientifique,

car elle vient valider la théorie décrivant les particules et la matière. «C'est la dernière pièce de ce qu'on appelle le modèle standard de la physique des particules», explique Sébastien Descotes-Genon du Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS).

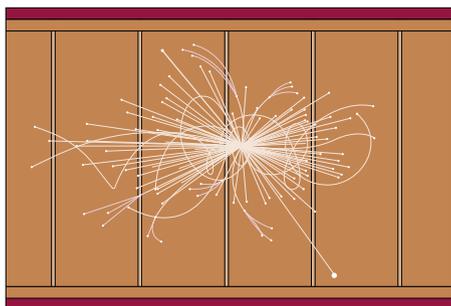
**«S'il n'y avait pas ce champ, tout irait à la vitesse de la lumière»**

Le physicien théoricien de l'IJCLab développe : «Ce modèle résulte de la vision, acquise depuis près de 50 ans, de ce qu'est la matière aux échelles les plus petites actuellement sondées. Aujourd'hui, nous sommes à même de répondre à la question "De quoi la matière est-elle faite?", par un très petit nombre de particules que nous appelons des fermions». Parmi ces fermions, les spécialistes différencient les quarks, au nombre de six, des leptons (dont font par exemple partie les électrons), au nombre de six également. À ces particules, les scientifiques associent également trois interactions fondamentales, nécessaires à la construction de la matière : l'interaction électromagnétique et deux interactions à l'échelle subatomique : les interactions forte et faible. «Jusque dans les années 1990, nous avons fait l'inventaire de toutes les particules élémentaires, de leurs interactions et de leurs comportements,

tout en les incluant dans un cadre cohérent. Nous avons eu besoin pour cela d'une description unifiée des interactions électromagnétique et faible. Beaucoup de travaux théoriques ont été effectués en ce sens, développe Sébastien Descotes-Genon. Mais lorsque nous avons essayé de trouver une description cohérente de l'ensemble des interactions électromagnétiques et faibles, il nous a fallu ajouter un "ingrédient supplémentaire" dans le modèle standard : le boson de Higgs.» Plus précisément, c'est le champ de Higgs qui est la clé du modèle standard et qui explique comment les interactions électromagnétiques et faibles, bien que très différentes en apparence, sont deux facettes d'une seule et même interaction. C'est en fournissant assez d'énergie à un champ que l'on crée une excitation qui, à l'instar d'une vague sur la mer, se propage et interagit avec son environnement, et qui correspond à une particule que l'on peut observer. C'est ainsi que, pour confirmer leur théorie du modèle standard de la physique des particules, les physiciennes et physiciens ont, des années durant, exploré sans relâche le champ de Higgs, à la recherche d'une excitation significative correspondant au précieux boson.

Construit sous terre entre la Suisse et la France et en fonctionnement depuis 2008, le Grand

collisionneur de hadrons (*Large Hadron Collider* ou LHC) du Cern est aujourd'hui encore l'accélérateur de particules le plus puissant et le plus étendu du monde. Dès son origine, il porte en lui l'espoir de toute la communauté d'un jour observer le boson de Higgs. « *Le LHC a été construit en partie pour observer les phénomènes aux échelles d'énergie auxquelles nous attendions la présence du boson de Higgs, ou sinon de quelque chose d'autre reliant les interactions faible et électromagnétique. Il a été conçu de manière à effectuer des collisions de particules à des énergies suffisantes pour exciter le champ de Higgs, créer la particule du boson et permettre l'étude de sa désintégration* », précise Sébastien Descotes-Genon. Car en effet, ce n'est pas le boson de Higgs à proprement parler qu'observent les scientifiques depuis sa découverte en 2012, mais les particules dans lesquelles celui-ci se désintègre. « *L'annonce du 4 juillet 2012 fait référence à l'observation, sur plusieurs canaux de désintégration, d'événements se produisant à des énergies similaires qui ne sont pas simplement du bruit de fond. Nous savons donc, avec un certain niveau de confiance statistique, que cela correspond à un phénomène physique propre* », explicite Sébastien Descotes-Genon.



« *Le champ de Higgs est partout. Contrairement à d'autres champs, et c'est ce qui en fait sa spécificité, il a pour propriété de perturber et de "ralentir" la propagation des autres particules. S'il n'y avait pas ce champ, rien n'aurait de masse et tout irait à la vitesse de la lumière* », continue le physicien de l'IJCLab.

#### Le boson à Paris-Saclay

Depuis dix ans maintenant, les chercheurs et chercheuses du monde entier s'attèlent à caractériser le boson de Higgs de manière toujours plus précise. Les collaborations *A Toroidal LHC Apparatus* (ATLAS) et *Compact Muon Solenoid* (CMS) sont toutes deux historiquement liées au boson de Higgs et à son étude. Ce sont d'ailleurs des scientifiques de ces deux expériences qui ont annoncé la découverte de la particule en 2012. Dès lors, l'objectif des deux groupes a été de mesurer toutes les propriétés possibles du boson de Higgs. « *D'abord des choses "simples", comme sa masse ou son spin (propriété quantique décrivant notamment la sensibilité au champ*

*électromagnétique), mais également la fréquence des différents modes de production du boson de Higgs et de ses désintégrations* », énumère Sébastien Descotes-Genon.

Dans cette optique, de nombreux laboratoires rattachés à l'Université Paris-Saclay participent depuis à l'effort scientifique international autour du développement de systèmes d'accélération de particules. Les détecteurs utilisés par ATLAS sont en partie conçus, testés et assemblés à l'IJCLab, tandis que l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu – Univ. Paris-Saclay, CEA) a participé au développement des détecteurs pour ATLAS et CMS. Les deux laboratoires participent également aux réflexions autour de futurs accélérateurs de particules.

« *Le groupe du CEA Paris-Saclay joue un rôle essentiel dans la calibration de l'énergie des photons en participant de manière importante à la conception du calorimètre électromagnétique, qui détecte les électrons et les photons et mesure leur énergie*, explique Julie Malclès, responsable du groupe CMS au Département de physique des particules de l'Irfu. *Le boson de Higgs se désintègre notamment en deux photons. Ce canal diphoton est idéal pour observer le boson, car il nous permet d'accéder à ses quatre modes de production principaux, avec une bonne sensibilité. Nous avons participé à de nombreuses études via ce canal, comme le couplage entre le boson et le quark top.* » Outre la formation et la désintégration du boson de Higgs, l'équipe de Julie Malclès souhaite également améliorer la précision des différentes mesures caractéristiques de la particule : « *nos travaux visent à diminuer les incertitudes sur les mesures de propriétés du boson. Pour cela, l'amélioration des méthodes d'analyse, avec par exemple des stratégies basées sur l'intelligence artificielle, joue un rôle très important. L'augmentation du nombre de collisions étudiées est aussi cruciale pour réduire les incertitudes statistiques. Elle passera par une refonte de l'accélérateur, pour engranger plus de collisions, et aussi par une jouissance des détecteurs, avec des améliorations drastiques de performance* ».

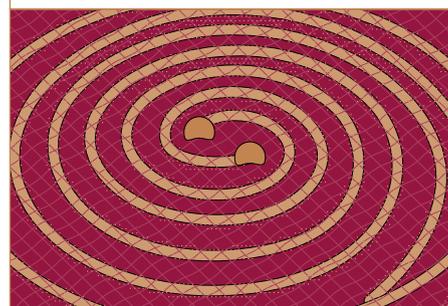
« *Nous sommes nombreux à l'IJCLab et à l'Institut de physique théorique (IPhT – Univ. Paris-Saclay, CNRS, CEA) à mener des réflexions théoriques autour des résultats, notamment pour déterminer l'espace des possibles* », complète Sébastien Descotes-Genon, avant de conclure. « *Quelles sont les hypothèses alternatives au modèle standard encore viables ?* », s'interroge le physicien.

#### Publications

- The ATLAS Collaboration. A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery. *Nature* 607, 52–59 (2022).
- The CMS Collaboration. A portrait of the Higgs boson by the CMS experiment ten years after the discovery. *Nature* 607, 60–68 (2022).

Titre

## Ondes gravitationnelles : écouter les tremblements de l'Univers



**Théorisées il y a plus de 100 ans par Albert Einstein, les ondes gravitationnelles sont aujourd'hui observables grâce à des interféromètres, des instruments de très haute technologie. Quel intérêt ont ces ondes pour les scientifiques et comment seront-elles mesurées à l'avenir ?**

Prédites par Albert Einstein en 1916, quelques mois après avoir publié ses travaux révolutionnaires sur la relativité générale, les ondes gravitationnelles sont le fruit des phénomènes les plus gigantesques de l'Univers. Lorsque deux trous noirs s'attirent l'un l'autre et fusionnent, les masse et énergie mises en jeu par ce processus sont telles qu'elles déforment l'espace-temps. Cette perturbation se propage ensuite dans l'Univers, sous la forme d'ondes. Des physiciennes et physiciens devinent plus tard que seuls des phénomènes extrêmes, comme la fusion de trous noirs ou l'explosion d'étoiles très denses, sont à même de déformer l'espace-temps et d'engendrer ainsi des ondes gravitationnelles.

Mais l'espace-temps est quelque chose de très rigide, et de son altération ne résultent que de faibles perturbations. Au cours de ces 50 dernières années, le défi des physiciennes et physiciens du monde entier a été de concevoir un appareil capable de percevoir les infimes mouvements de l'espace-temps (de l'ordre de  $10^{-18}$  m, soit un milliardième de milliardième de mètre). Dans les années 1970, le physicien américain Rainer Weiss propose d'utiliser des interféromètres pour étudier les interférences provoquées par les ondes gravitationnelles. Aujourd'hui encore, c'est ce principe qui est utilisé par la communauté.



### L'interféromètre, un puissant outil collaboratif

«Lorsque deux trous noirs, avant leur fusion, tournent l'un autour de l'autre, ils émettent des ondes gravitationnelles, perdent de l'énergie, tournent de plus en plus vite et ainsi de suite jusqu'à leur fusion. Deux trous noirs coalescés (fusionnés) sont typiquement le type d'objet que l'on peut observer», explique Nicolas Leroy, responsable du groupe Ondes gravitationnelles au sein du pôle Astroparticules, astrophysique et cosmologie (A2C) du Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS). En 2015, la fusion de deux trous noirs a été observée pour la première fois grâce aux deux interféromètres *Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory* (LIGO), basés à Livingston (Louisiane) et à Hanford (Washington) aux États-Unis. En plus des couples de trous noirs, les scientifiques sont aujourd'hui en mesure d'étudier les ondes gravitationnelles provenant de la fusion d'une étoile à neutrons et d'un trou noir, ou de deux étoiles à neutrons, notamment grâce à Virgo, l'interféromètre basé à Pise en Italie et issu d'une collaboration européenne.

Un interféromètre est un instrument capable de mesurer les interférences qu'il subit grâce au déphasage de son laser. Dans une installation en forme de L, ce même laser est séparé en deux faisceaux, qui rencontrent chacun un miroir, à une distance précisément connue. Après réflexion, les faisceaux retournent au point de séparation et se réunissent, en parfaite phase. Lorsqu'une onde gravitationnelle traverse la Terre, c'est-à-dire lorsque l'espace-temps est perturbé aux environs de la Terre, les distances parcourues par les faisceaux laser sont modifiées. Il en résulte qu'à l'étape finale, le laser reconstitué est déphasé. «Lors de sa propagation dans l'espace, une onde gravitationnelle contracte l'espace dans une direction et le dilate à 90°. Un interféromètre vous donne le chemin optique dans une direction par rapport à une autre à 90°. C'est donc un instrument parfait et infiniment précis pour mesurer une distance par rapport à une autre», résume Nicolas Leroy. Au XIX<sup>e</sup> siècle, à l'époque de sa conception, l'interféromètre est utilisé pour confirmer ou infirmer la théorie de l'éther, soutenue dès le XVII<sup>e</sup> siècle par Descartes ou Newton. Cette hypothèse, réfutée à l'aide des interféromètres, impliquait que les corps célestes laissaient derrière leurs mouvements des «tourbillons» d'éther.

L'inconvénient majeur d'un interféromètre est que l'instrument reçoit toutes les perturbations venant de l'Univers dans son ensemble : «un interféromètre, c'est plus proche d'une

antenne que d'un télescope», plaisante Nicolas Leroy. Pour y faire le tri, il a été essentiel de construire plusieurs interféromètres sur Terre : les deux LIGO, Virgo et Kamioka Gravitational Wave Detector (KAGRA), l'interféromètre souterrain de l'Université de Tokyo. Grâce à la technique de temps de vol, en croisant les données reçues par chaque interféromètre terrestre, les chercheurs et chercheuses du monde entier sont capables de définir avec précision la zone d'origine d'une onde. En 2007, une première collaboration internationale voit le jour entre les équipes de LIGO et de Virgo. «Seulement quelques années plus tard en 2015, cette collaboration a été un succès phénoménal», se félicite Nicolas Leroy.

### Deux futurs instruments pour élargir le champ observable

Loin de s'en tenir à ce succès, la communauté scientifique se tourne vers l'avenir et celui de la détection d'ondes gravitationnelles se jouera dans l'espace... et sous terre. Le *Laser Interferometer Space Antenna* (LISA) est un projet d'envergure internationale qui verra le jour en 2036. Cet interféromètre spatial, actuellement en cours de conception, sera formé de trois satellites, chacun émetteur d'un laser. «Notre perception du champ électromagnétique a été élargie au fil du temps, et nous sommes aujourd'hui en capacité de voir l'ensemble du spectre (visible, ultraviolet, infrarouge, ondes radio, etc.). Avec LISA, nous serons capables d'observer des fréquences nouvelles, différentes de celles que l'on obtient sur Terre. LISA observera des fusions de trous noirs supermassifs mais également toute la vie d'un système binaire et toute la modulation du signal. Cela nous permettra de tester la relativité générale de manière très poussée», développe Nicolas Leroy. En parallèle, se déploie le projet du télescope Einstein, un nouvel interféromètre souterrain qui viendra grandement augmenter la sensibilité des détecteurs terrestres. «Tout comme LISA, le télescope Einstein sera aussi de forme triangulaire mais il sera composé de six interféromètres», complète le physicien de l'IJCLab. Ce projet, issu d'une collaboration européenne, verra le jour d'ici 2040.

Au sein de l'Université Paris-Saclay, les chercheurs et chercheuses de l'IJCLab et de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu – Univ. Paris-Saclay, CEA) contribuent activement à l'effort planétaire concernant la détection et l'analyse des ondes gravitationnelles, ainsi qu'au développement de ces outils du futur. Ils et elles conduisent notamment des préparations analytiques et instrumentales à destination de LISA. «Je travaille à la fois sur l'analyse des données et sur l'amélioration des détecteurs, explique

Nicolas Leroy. En ce moment, je m'intéresse au squeezing, une technique utilisant l'effet d'intrication quantique pour améliorer les détecteurs d'ondes gravitationnelles. Cela équivaut à essayer d'augmenter la puissance du laser d'un détecteur, en jouant sur les effets quantiques plutôt que sur la puissance même.»

Depuis plus d'un siècle, les ondes gravitationnelles fascinent les physiciennes et physiciens. Et du plateau de Saclay jusqu'à l'orbite terrestre, leur étude continue de captiver ces scientifiques.

### Publication

• R. Abbott et al. Search for Gravitational Waves Associated with Gamma-Ray Bursts Detected by Fermi and Swift during the LIGO–Virgo Run O3b. LIGO Scientific and KAGRA and VIRGO Collaborations. *Astrophys. J.* 928, 2, 2022.

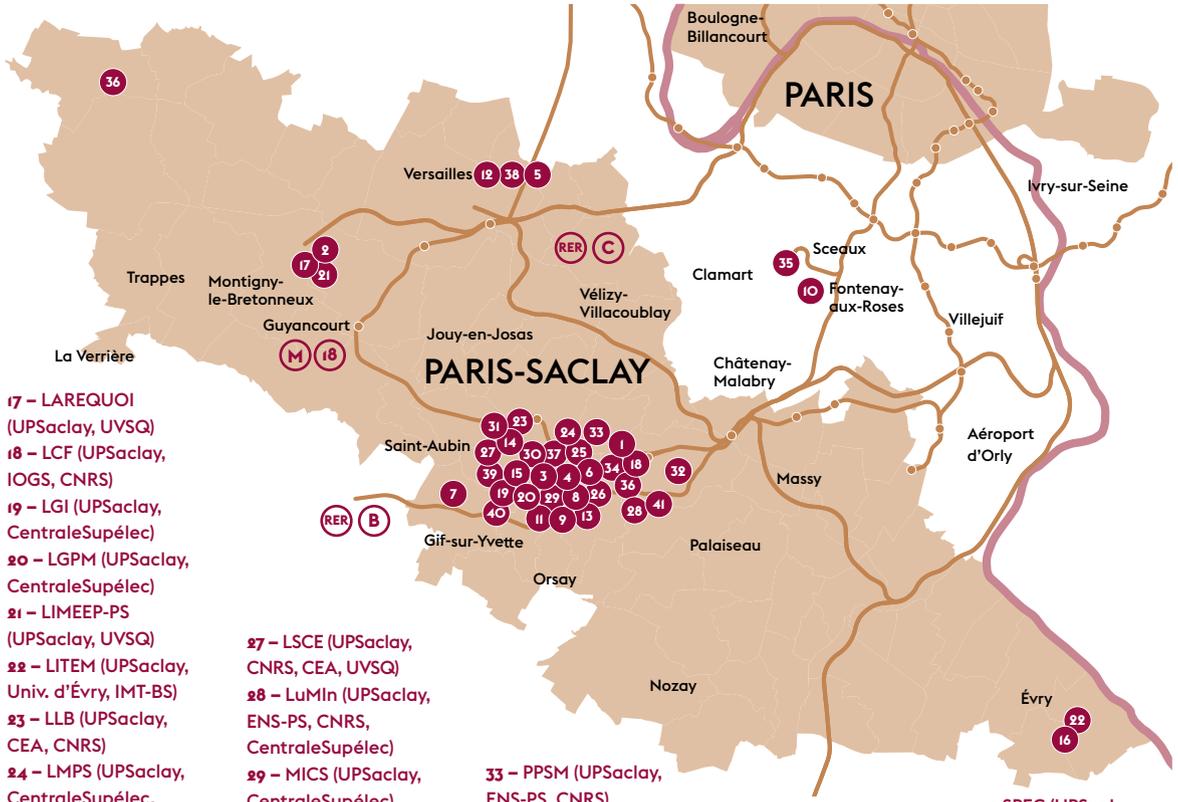
Titre

# La transition écologique à l'Université Paris-Saclay

Petit tour d'horizon des forces impliquées dans les transitions climatique, énergétique, industrielle et agro-alimentaire à l'Université Paris-Saclay.

**LABORATOIRES ET STRUCTURES IMPLIQUÉS**

- 1 – C2N (UPSaclay, CNRS, Univ. Paris Cité)
- 2 – CEARC (UPSaclay, UVSQ)
- 3 – EM2C (UPSaclay, CNRS, CentraleSupélec)
- 4 – GeePS (UPSaclay, CentraleSupélec, CNRS, Sorbonne Univ.)
- 5 – GÉMAC (UPSaclay, UVSQ, CNRS)
- 6 – GEOPS (UPSaclay, CNRS)
- 7 – I2BC (UPSaclay, CEA, CNRS)
- 8 – ICMMO (UPSaclay, CNRS)
- 9 – ICP (UPSaclay, CNRS)
- 10 – IDEP (UPSaclay)
- 11 – IJCLab (UPSaclay, CNRS, Univ. Paris Cité)
- 12 – ILV (UPSaclay, UVSQ, CNRS)
- 13 – ISMO (UPSaclay, CNRS)
- 14 – I-Tésé (UPSaclay, CEA)
- 15 – I2S (UPSaclay, CNRS, CentraleSupélec)
- 16 – LAMBE (UPSaclay, Univ. d'Évry, CNRS, Cergy Paris Univ.)



- 17 – LAREQUOI (UPSaclay, UVSQ)
- 18 – LCF (UPSaclay, IOGS, CNRS)
- 19 – LGI (UPSaclay, CentraleSupélec)
- 20 – LGPM (UPSaclay, CentraleSupélec)
- 21 – LIMEEP-PS (UPSaclay, UVSQ)
- 22 – LITEM (UPSaclay, Univ. d'Évry, IMT-BS)
- 23 – LLB (UPSaclay, CEA, CNRS)
- 24 – LMPS (UPSaclay, CentraleSupélec, ENS-PS, CNRS)
- 25 – LPS (UPSaclay, CNRS)
- 26 – LPTMS (UPSaclay, CNRS)

- 27 – LSCE (UPSaclay, CNRS, CEA, UVSQ)
- 28 – LuMin (UPSaclay, ENS-PS, CNRS, CentraleSupélec)
- 29 – MICS (UPSaclay, CentraleSupélec)
- 30 – MTS (UPSaclay, CEA, INRAE)
- 31 – NIMBE (UPSaclay, CEA, CNRS)
- 32 – ONERA

- 33 – PPSM (UPSaclay, ENS-PS, CNRS)
- 34 – PSAE (UPSaclay, INRAE, AgroParisTech)
- 35 – RITM (UPSaclay)
- 36 – SADAPT (UPSaclay, INRAE, AgroParisTech)

- 37 – SATIE (UPSaclay, ENS-PS, CNRS, UGE, CNAM, Cergy Paris Univ.)
- 38 – SOURCE (UPSaclay, UVSQ, IRD)

- 39 – SPEC (UPSaclay, CEA, CNRS)
- 40 – SPMS (UPSaclay, CentraleSupélec, CNRS)
- 41 – UMPHY (UPSaclay, CNRS, Thales)

Plus de **40** laboratoires

Un personnel de recherche de plus de **800** personnes

**Les formations liées**

- Près de 70 masters 1 et 120 masters 2
- 18 mentions: Agrosciences, environnement, territoires, paysage, forêt; Biodiversité, écologie et évolution; Bioinformatique; Biologie-santé; Chimie; Économie politique et institutions; Économie de l'environnement, de l'énergie et des transports; Électronique, énergie électrique, automatique; Énergie;

Études du développement et de l'environnement; Génie des procédés et des bioprocédés; Gestion des territoires et du développement local; Nutrition et sciences des aliments; Physique; Sciences de la terre et des planètes, environnement; Sciences et génie des matériaux; Science politique; Sociologie

- Diplôme d'université Agir pour le climat
- Alliance universitaire européenne pour la santé globale (EUGLOH)

**Les Graduate Schools concernées**

- Biosphera
- Chimie
- Économie et management
- Géosciences, climat, environnement, planètes
- Institut des sciences de la lumière
- Life Sciences and Health
- Métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur
- Physique
- Sciences de l'ingénierie et des systèmes
- Sociologie et science politique

**Les objets interdisciplinaires**

- All-Can
- C-BASC
- IES

**Les axes de recherche et d'innovation:**

- Analyse pratique, systémique et technologique de stratégies d'atténuation du changement climatique et de restauration de la biodiversité
- Comprendre et accompagner la transition vers des systèmes socio-

- écologiques durables
- Dynamiques et gestion de la biodiversité
- Énergie et société: transition, innovation et durabilité
- Études spécifiques aux zones périurbaines et favoriser la durabilité dans ces territoires
- Gestion des écosystèmes et transition agroécologique

- Quantification et réduction des vulnérabilités liées aux transitions climatique et écologique
- Production d'énergie à partir de ressources naturelles
- Réseaux énergétiques
- Stockage et conversion de l'énergie
- Utilisation finale et efficacité

**Les écoles doctorales impliquées:**

- Agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES)
- Electrical, Optical, Biophysics and Engineering (EOBE)

- Interfaces (pôle Matériaux innovants et leurs applications)
- Ondes et matière (EDOM)
- Sciences chimiques: molécules, matériaux, instrumentation et biosystèmes (2MIB)
- Sciences de l'environnement d'Île-de-France (SEIF)
- Sciences du végétal: du gène à l'écosystème

- Sciences mécaniques énergétiques, matériaux et géosciences (SMEMAG)
- Sciences sociales et humanités (SSH)
- Structure et dynamique des systèmes vivants (SDSV)

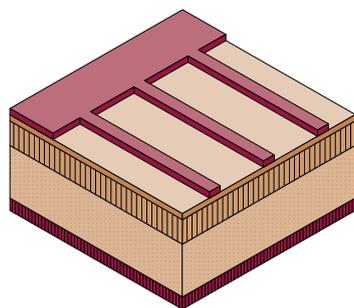


## L'ENS Paris-Saclay et EDF coopèrent pour la transition énergétique

Le 19 avril 2022, l'ENS Paris-Saclay et le groupe EDF ont entériné un accord de coopération entre l'établissement-composante de l'Université Paris-Saclay et l'entreprise de production et de fourniture d'énergie. «*La transition énergétique est un très grand défi pour EDF, avec l'objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050*, détaille Bernard Salha, directeur technique du groupe EDF et directeur de la recherche et du développement d'EDF. *Les partenariats avec les grands acteurs académiques sont des outils indispensables pour y faire face.* » Le programme de recherche qui découle de cet accord s'intitule «*Contribution aux enjeux technologiques et sociétaux des infrastructures de production, de transport et de stockage d'énergie* ». Un total de neuf binômes composés de scientifiques de l'ENS Paris-Saclay et d'EDF travailleront sur des projets portant sur cette thématique. «*Avec ce partenariat, l'ENS Paris-Saclay confirme son intégration dans un cluster industriel* », se félicite Pierre-Paul Zalio, son ex-président.

<https://ens-paris-saclay.fr/actualite/acceleration-de-la-cooperation-entre-lens-paris-saclay-et-edf>

## Des cellules photovoltaïques aux rendements et épaisseurs inédits

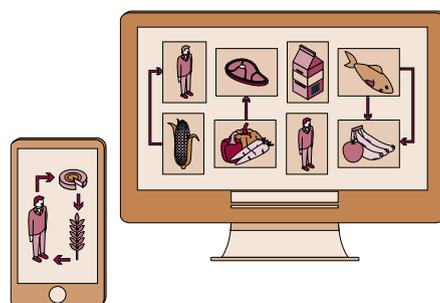


Une collaboration entre le Centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité), l'institut allemand Fraunhofer pour les systèmes d'énergie solaire (Fraunhofer ISE – Fraunhofer-Gesellschaft) et l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF) porte sur la conception de cellules solaires ultraminces dont les rendements de conversion frôlent les 20 %. Ces cellules se composent essentiellement d'un alliage d'arséniure de gallium (GaAs) d'une épaisseur d'un peu plus de 200 nanomètres,

soit 1 000 fois plus fine que les cellules solaires commerciales en silicium (environ 200 micromètres) aux rendements similaires. Une telle finesse de cellules promet des coûts de fabrication nettement réduits. La collaboration structure académique-industriel entre le C2N et l'IPVF est à l'origine de nombreux autres travaux de recherche portant sur les cellules photovoltaïques ultraminces à haut rendement, et plusieurs brevets ont déjà été déposés pour participer au transfert industriel de ces technologies.

**Publication** • H.-L. Chen et al. A 19,9%-efficient ultrathin solar cell based on a 205-nm-thick GaAs absorber and a silver nanostructured back mirror. *Nature Energy* 4, 761-767, 2019.

## CircularIT : la chaire qui veut lier numérique et économie circulaire



Fruit d'une collaboration entre CentraleSupélec, établissement-composante de l'Université Paris-Saclay, et l'institut de recherche technologique IRT SystemX, l'Alliance CircularIT a pour but de mettre le numérique au service de l'environnement et du développement soutenable. Officiellement créée le 10 mai 2022 pour cinq ans, cette chaire développera, à destination des citoyennes et citoyens comme des entreprises, des outils d'aide à la décision favorisant la soutenabilité et par la suite de nouveaux *business models* fondés sur les principes d'une économie circulaire et durable. «*CentraleSupélec utilise son savoir-faire des activités et flux industriels et de l'économie circulaire pour aboutir à un cadre de référence de jumeau numérique, de manière à pouvoir piloter l'économie circulaire et la soutenabilité des territoires et des entreprises et les chaînes de valeur industrielles* », détaille Bernard Yannou, directeur-adjoint de la Recherche à CentraleSupélec. Un pôle de recherche en amont sera piloté par CentraleSupélec, tandis qu'IRT SystemX dirigera un pôle de recherche industrielle.

<https://www.centralesupelec.fr/fr/lancement-dalliance-circularit-le-numerique-et-lintelligence-artificielle-au-service-de-leconomie>

## VivAgriLab : promouvoir une agriculture et un système alimentaire durables

Conçue en 2021, VivAgriLab est une plateforme de dialogue ayant pour objectif l'élaboration de projets de recherche appliquée concernant les territoires agri-urbains du sud-ouest francilien. La plateforme regroupe des acteurs de la recherche, dont le Centre d'études interdisciplinaires sur la biodiversité, l'agroécologie, la société et le climat (C-BASC) de l'Université Paris-Saclay, des associations territoriales telles que Terre & Cité, des acteurs techniques et des collectivités et acteurs institutionnels. De la plaine de Versailles au plateau de Saclay, en passant par le Triangle vert, VivAgriLab souhaite promouvoir la durabilité de l'agriculture sur des territoires proches de l'Université. Avec l'extension de la métropole parisienne, il devient essentiel de préserver les espaces agricoles et naturels régionaux, en les incluant dans une économie circulaire. Le premier projet lancé par VivAgriLab concerne le réancrage des flux alimentaires à l'échelle territoriale, avec la diversification des exploitations agricoles et le développement des approvisionnements alimentaires locaux, et le bouclage des flux de matière organique (compost) à cette échelle.

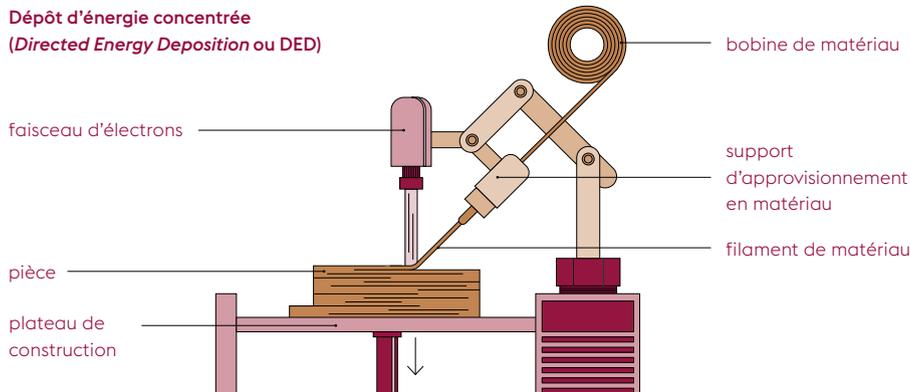
[www.universite-paris-saclay.fr/objets-interdisciplinaires/centre-detudes-interdisciplinaires-sur-la-biodiversite-lagroecologie-la-societe-et-le-climat-c-basc/plateforme-multi-acteurs-pour-la-transition-du-territoire](http://www.universite-paris-saclay.fr/objets-interdisciplinaires/centre-detudes-interdisciplinaires-sur-la-biodiversite-lagroecologie-la-societe-et-le-climat-c-basc/plateforme-multi-acteurs-pour-la-transition-du-territoire)

Titre

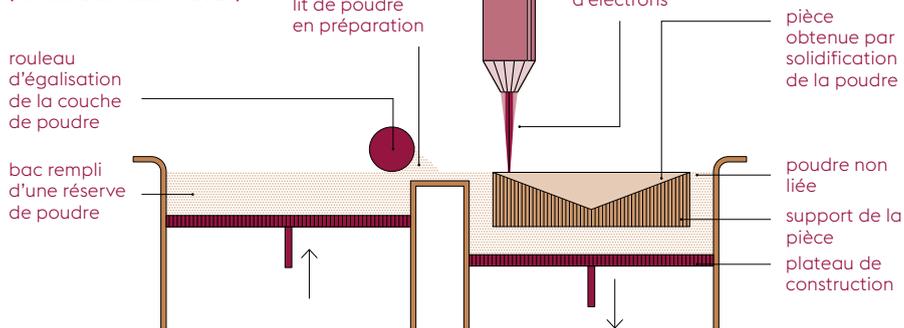
# Vers un nouvel essor de la fabrication additive

## PRINCIPE DE QUELQUES PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE

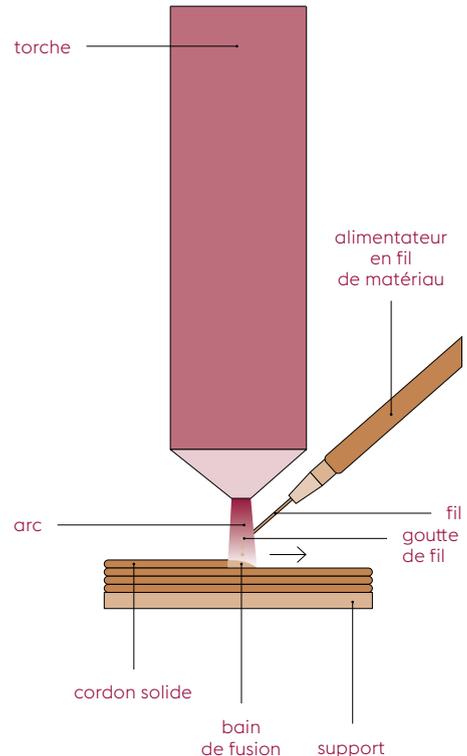
### Dépôt d'énergie concentrée (Directed Energy Deposition ou DED)



### Fusion sur lit de poudre (Powder Bed Fusion ou PBF)



### Arc-fil (Wire Arc Additive Manufacturing ou WAAM)



**Plusieurs laboratoires de l'Université Paris-Saclay articulent leurs recherches autour de la fabrication additive et de l'usine du futur. Cela comprend l'optimisation des procédés, le contrôle des pièces et le développement de nouveaux processus de fabrication.**

Prothèses médicales, voitures, maisons, satellites... La liste des objets dont la fabrication est aujourd'hui envisageable par impression 3D, ou fabrication additive (FA), ne cesse de s'allonger. Si le premier dépôt de brevet date de 1984, l'essor de la technologie n'intervient réellement qu'au milieu des années 2000, avec la levée progressive des brevets entourant ses procédés et la commercialisation des premières imprimantes 3D. Au début, celles-ci ne sont utilisées qu'à des fins ludiques avant de servir à du prototypage rapide.

Mais que ce soit dans le domaine de la bio-impression, des transports, de l'architecture, du design et bien d'autres, les industriels se rendent vite compte des nombreux avantages de cette technologie. La FA libère la créativité des concepteurs (en optimisant les formes et les

propriétés des pièces fabriquées) autant qu'elle fait baisser les coûts de production (en réduisant les pertes de matière ou le nombre de pièces à fabriquer). Depuis 2015, son marché mondial connaît un essor exponentiel et la production industrielle compte aujourd'hui sur elle pour développer l'industrie du futur. En lien avec cette thématique, plusieurs laboratoires de l'Université Paris-Saclay travaillent sur l'optimisation de ses procédés et la qualité des pièces fabriquées.

### De multiples procédés de fabrication

La FA est une fabrication de pièces en volume qui repose sur l'ajout de matière, couche par couche, à partir d'une modélisation numérique 3D réalisée par un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Elle comprend sept classes de procédés : photo-polymérisation en cuve, projection de matière, projection de liant, fusion sur lit de poudre, extrusion de matière, dépôt de matière sous flux d'énergie dirigé, et stratification de couches. Le choix du procédé utilisé se fait en fonction du type de matériau (polymères thermodurcissables ou thermoplastiques, bois, métaux, céramiques), de la taille finale de la pièce, de la finesse de réalisation ou du rendement souhaités.

Pour la réalisation de pièces métalliques, particulièrement à l'étude au sein des laboratoires de l'Université, les procédés par fusion de matière sont souvent privilégiés car ils affichent une meilleure productivité. La fabrication se fait alors par dépôt de fil fondu, par dépôt de poudre ou par fusion sur lit de poudre.

### Des nouveaux matériaux...

Au sein de la plateforme *Saclay's Advanced Manufacturing and Technological Applications* (SAMANTA) du CEA Paris-Saclay, les scientifiques s'intéressent plus spécifiquement aux procédés dits de dépôt d'énergie concentrée (*Direct Energy Deposit* ou DED) par laser ou faisceau d'électrons sur poudre ou sur fil, et de fusion laser sur lit de poudre (*Laser Powder Bed Fusion* ou LPBF). Ils s'attachent à mettre au point de nouveaux alliages ou à contrôler les propriétés physico-chimiques d'un matériau au regard de son application finale.

Aujourd'hui, la FA devient aussi et de plus en plus une brique technologique pour découvrir de nouveaux matériaux et l'équipe de SAMANTA tourne son regard vers les poudres métalliques. Elle cherche à mettre au point des matériaux à haute entropie, également appelés alliages à cinq éléments (au choix parmi le fer,

le cobalt, l'aluminium, le chrome, le tungstène, le titane, le molybdène...). Dans le cadre du Programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) DIADEME, elle compte sur l'intelligence artificielle (IA) pour l'aider. «*Il s'agit d'abord de synthétiser un grand nombre d'échantillons grâce au procédé DED pour ensuite réaliser un screening rapide de leurs propriétés. Le grand volume de données généré sera alors traité par IA*», développe Hicham Maskrot, responsable du Laboratoire d'ingénierie des surfaces et laser au sein du Département de physico-chimie (Univ. Paris-Saclay, CEA).

### ... aux comportements originaux

Car la FA induit des phénomènes qui n'existaient pas auparavant. Elle crée dans les matériaux des microstructures inédites. La FA permet par exemple de créer des métamatériaux (des matériaux artificiels à structure périodique). Les recherches réalisées au sein de SAMANTA ont ainsi débouché sur la mise au point de filtres métalliques dont les procédures de fabrication étaient auparavant assez lourdes. Dans la continuité de ces travaux, la start-up AME2L, en cours de création, mettra au point des métamatériaux à destination d'industries du domaine de la filtration, des amortisseurs de chocs et de l'énergie.

«*Du fait de processus de solidification très rapides, les atomes constitutifs de la matière s'arrangent de façon très spécifique*, explique Hicham Maskrot. *Il s'agit maintenant de déterminer si ces phénomènes confèrent au matériau un comportement particulier et de voir comment jouer sur sa composition. Le matériau fabriqué est-il par exemple plus résistant à la corrosion ou à l'irradiation qu'un matériau classique ?*» En lien avec ces questions, SAMANTA répond aux besoins d'équipes de recherche et d'industriels travaillant sur le mix énergétique.

### Obsolescence, réparation et suivi d'usage

Dans ce domaine, la FA se montre particulièrement utile pour répondre à la problématique de l'obsolescence des pièces par rétro-conception. En partant d'une ancienne pièce, dont le plan original est manquant, et en la scannant, il est possible de la refabriquer par FA. «*La technique de LPBF permet de réparer sur site, localement, la pièce endommagée*», souligne Hicham Maskrot.

Il est également possible d'insérer des traceurs (fibres optiques, capteurs chimiques ou de déformation) dans les objets : ils fournissent des informations sur l'état et le comportement du matériau et des contraintes subies (température, irradiation, fissure...) tout au long de la vie des objets. «*La FA favorise le*

*développement d'objets intelligents. En mettant par exemple des luminophores ou des fibres optiques dans un acier 316L, le matériau le plus utilisé dans l'industrie nucléaire, on vérifie en temps réel dans quel état il se situe. On sait quand il faut changer la pièce et la remplacer uniquement lorsqu'elle est usée*», commente Hicham Maskrot.

### La nécessaire qualification des pièces

Mais comme toute technologie récente, la FA n'est pas exempte de quelques verrous. Ils concernent la productivité des machines, la taille des pièces et surtout, leur qualification. Au Laboratoire de méthodes de contrôle du CEA-List, l'équipe de Steve Mahaut travaille à mieux maîtriser le contrôle des pièces fabriquées, afin de mieux qualifier les pièces finies. «*Aujourd'hui, les constructeurs disposent de données de monitoring : il s'agit d'un rapport de fabrication attestant que celle-ci s'est bien déroulée et que les consignes d'utilisateur ont été respectées. Il reste à vérifier que la pièce fabriquée est conforme, exempte de défauts tels que porosité, manque de matière, fusion inadaptée*», relate Steve Mahaut.

Pour autant, ces données suffisent-elles à garantir la bonne conformité de la pièce ? Car même en maîtrisant tous les paramètres de la machine (température, vitesse, puissance du laser, etc.), des phénomènes liés aux procédés eux-mêmes perturbent la fabrication. Par exemple, dans le cas du procédé arc-fil (*Wire Arc Additive Manufacturing* ou WAAM), la distance entre la pièce et la torche (l'arc-fil) change en cours de fabrication, car la pièce se déforme avec la chaleur et le temps. Si la distance s'allonge, cela entraîne une moins bonne fusion de deux plaques de soudage. Dans le cas des procédés en fusion laser, des grains de poudre éjectés peuvent faire écran et conduire à une mauvaise fusion.

C'est pour cela que l'équipe du CEA-List développe des capteurs qui suivent la pièce au cours de sa fabrication, complémentaires aux outils existants et basés sur des méthodes électromagnétiques, ultrasons sans contact ou radiographiques. Tout l'enjeu est là : développer des capteurs les plus sensibles possibles aux informations les plus pertinentes, et établir une corrélation intelligente entre l'ensemble des données physiques recueillies et la réalité des pièces fabriquées. «*De cette façon, si on voit en temps réel que, pour une pièce, un matériau et une machine donnés, les paramètres garantissant la bonne conformité de la pièce ne sont pas respectés, on peut soit décider d'arrêter la fabrication, soit – et c'est l'objectif ultime de la FA – corriger la pièce en cours de fabrication*», signale Steve Mahaut.

### La qualification au cœur de projets

C'est à ces fins que son équipe participe à plusieurs projets de recherche collaboratifs français (au sein de l'*Additive Factory Hub* sur le plateau de Saclay) et européens comprenant chacun un large consortium d'acteurs académiques et industriels. Le projet INTEGRADDE, qui tourne autour de la fabrication, par procédé DED, de pièces métalliques certifiées, vise à mettre au point un pipeline intelligent piloté par les données. Cette solution numérique intégrera les données de conception de la pièce (CAO), celles de fabrication (trajectoire du laser et stratégie appliquées), celles enregistrées lors de la fabrication et celles de contrôle, la pièce finie.

Centré sur le procédé WAAM, le projet GRADE2XL a pour objectif d'obtenir de grandes pièces bi-matériaux. «*L'idée est de maîtriser localement, dans les zones exposées ou chargées mécaniquement, des propriétés matériaux (dureté, résistance à la corrosion) spécifiques*», commente Steve Mahaut. Enfin, avec le projet NUCOBAM, ce sont le contrôle des pièces en post-fabrication et leur qualification en vue d'une utilisation dans le domaine du nucléaire qui sont à l'étude.

### Un robot qui en dit long

Au Laboratoire universitaire de recherche en production automatisée (LURPA – Univ. Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay), des chercheurs et chercheuses s'intéressent également à la qualité des pièces issues de la FA. Leur qualification passe par la mesure, en une, deux ou trois dimensions et au moyen d'instruments de métrologie, de l'écart de forme et de dimensions des pièces fabriquées, afin de planifier les éventuelles opérations de post-traitement à réaliser. En accord avec une industrie 4.0, leurs travaux visent à intégrer cette étape de mesures directement dans la ligne de fabrication des pièces. Ils développent pour cela une solution basée sur un robot anthropomorphe – reproduisant les mouvements d'un bras humain – combiné à un capteur laser.

«*En mettant des capteurs laser sur une chaîne de montage ou sur un robot, et en faisant bouger soit le laser soit le bras du robot qui maintient la pièce, on obtiendrait des informations afin de qualifier la pièce en vol. Cela éviterait d'avoir à stopper la chaîne pour opérer ces mesures de contrôle. Et si une dérive se faisait sentir, on saurait qu'il faut modifier le procédé de fabrication*», explique Olivier Bruneau, directeur du LURPA.

### Caractériser les défauts pour parfaire la fabrication

Un robot présente toutefois une grande flexibilité articulaire et (dans une moindre mesure)



segmentaire, des jeux, des frottements, des problèmes de parallaxes, de vibration, de petites erreurs de dimensions géométriques... Ce qui engendre au final des problèmes d'exactitude et de répétabilité de la trajectoire. Au LURPA, les scientifiques tentent de caractériser l'ensemble de ces défauts. Leur but est de proposer de nouvelles méthodes de modélisation intégrant numériquement ces défauts afin d'obtenir la meilleure trajectoire initiale possible.

Depuis peu, le laboratoire dispose d'une cellule robotisée hybride de fabrication additive/soustractive. Un premier robot anthropomorphe y assure la fabrication d'une pièce grâce au procédé WAAM, tandis qu'un second bras robotique usine la pièce. « *Celle-ci ne bouge pas de son support entre les étapes, ce qui diminue les erreurs et fait gagner du temps* », signale Olivier Bruneau. Des caméras, disposées dans l'espace, assurent le suivi et contrôlent la bonne exécution des procédés. Les premières expériences ont démarré.

Mais fabriquer une pièce en FA à l'aide d'un robot est un vrai challenge. « *Trois grands paramètres régissent cette fabrication : la vitesse à laquelle le fil métallique descend et sort de l'embout alimentateur, la puissance laser utilisée par la torche pour faire fondre le fil, et la vitesse d'avancée du robot. La corrélation des trois modifie la qualité de la pièce fabriquée*, détaille Olivier Bruneau. *Il nous faut donc déterminer l'influence de chacun des paramètres du procédé, puis faire de même avec les défauts du robot pour enfin estimer l'influence du couplage de l'un avec l'autre. Cela engendre une explosion combinatoire pour laquelle l'intelligence artificielle nous aidera à identifier les bonnes zones de fabrication de la pièce.* »

La fabrication additive n'a décidément pas fini de se réinventer.

#### Publications

- M. Nussbaum, et al. Mechanical properties and high temperature oxidation resistance of (AlCrTiV) N coatings synthesized by cathodic arc deposition. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 434, 2022.
- Matthias Bordron et al. Inline measurement strategy for additive manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 233 (5), 1402-1411, 2019.

Titre

## Jumeau numérique : une image virtuelle capable de dire l'avenir

**Grâce à la modélisation numérique et à l'apport des données, les scientifiques de l'Université Paris-Saclay prévoient le comportement d'un système réel et anticipent les aléas.**

Relativement nouveau dans le paysage industriel, le jumeau numérique promet de bouleverser les usages en vigueur. Fruit d'un couplage entre simulation et données, il fournit l'image numérique d'un système réel (machine, pièce ou procédé) qu'il modélise le plus fidèlement possible. Grâce à lui, prédire le fonctionnement du système et trouver de nouvelles façons de fonctionner deviennent possibles. Il figure au cœur des recherches de plusieurs laboratoires de l'Université, dont le Laboratoire de mécanique Paris-Saclay (LMPS – Univ. Paris-Saclay, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay, CNRS).

#### Une boucle d'échanges

Pour mettre au point cette modélisation hyper-réaliste, les scientifiques utilisent des modèles physiques, comme ceux de la mécanique des milieux continus, qu'ils enrichissent par des données issues du réel, fournies par des capteurs placés au niveau du système. Pour autant, le jumeau numérique n'est pas une simple copie virtuelle et statique du système. La modélisation évolue en fonction des informations récoltées. On parle notamment de systèmes d'applications dynamiques pilotées par les données (DDDAS). Système réel et jumeau numérique dialoguent de façon dynamique et continue. « *Le système physique envoie des données expérimentales au jumeau numérique par l'intermédiaire des capteurs. Cela permet de recalibrer le modèle si le système réel évolue ou dévie de son fonctionnement supposé*, explique Ludovic Chamoin, responsable de l'équipe STAN au LMPS et familier de cette boucle rétroactive. *Le jumeau numérique devient capable de prédire ce qu'il se passera avant que cela n'ait lieu. Cela facilite la prise de décision et évite d'entrer dans une zone critique de fonctionnement du système.* »

Tout l'enjeu est d'obtenir un modèle le plus adéquat possible. « *Si le modèle est trop compliqué, il sera difficile de réaliser la simulation et de faire des prédictions en un temps raisonnable. A contrario, s'il est trop simple, on ne comprendra rien du phénomène étudié.* »

#### Anticiper le comportement face à l'endommagement

Au LMPS, Ludovic Chamoin et ses collègues s'intéressent au comportement de structures mécaniques en béton ou en matériaux composites soumises à des phénomènes d'endommagement. En collaboration avec le Service d'études mécaniques et thermiques (SEMT – Univ. Paris-Saclay, CEA), son équipe a récemment appliqué une stratégie de recalage dynamique de modèle lors d'essais sismiques sur table vibrante. « *La maquette de bâtiment étudiée s'endommageant au cours de l'essai, ses propriétés changent. Définie à partir d'une structure saine, la loi de commande perd peu à peu son efficacité et cela compromet la façon dont on pilote la table, avec des risques d'instabilité.* » Grâce à des accéléromètres placés sur la structure, des mesures sont venues enrichir le modèle afin de modifier la loi de commande à la volée et de prendre en compte l'évolution de la structure. « *L'idée est de ne pas arrêter les essais mais d'évaluer l'endommagement de la structure en continu et en temps réel.* »

Le projet DREAM-ON, lauréat d'une bourse ERC Consolidator Grant en 2021, ambitionne d'aller encore plus loin : vers des structures mécaniques intelligentes et connectées, capables de contrôler leur état de santé et de s'adapter de façon autonome au cours de leur utilisation. Ici, un réseau de fibres optiques sensibles à la déformation est noyé dans le matériau. « *Ce côté "embarqué" donne accès, en temps réel et avec une très grande résolution spatiale, à ce qu'il se passe dans la structure* », commente Ludovic Chamoin.

À terme, DREAM-ON projette de fournir une preuve de concept sous la forme d'une expérience où l'intégrité d'une structure réelle sous chargement contrôlé est préservée. Une des difficultés réside dans le traitement du signal, car il faut recalibrer le modèle en temps réel. « *On voudrait atteindre une prédiction de l'ordre de la seconde.* » Pour cela, l'équipe compte s'appuyer sur l'intelligence artificielle (IA). « *On part d'une loi de comportement assez simple mais représentative de ce qu'il se passe et l'IA ajoute ce qu'on ne connaît pas et qu'on ne sait pas modéliser analytiquement. On l'apprend grâce au machine learning, en croisant des connaissances issues des sciences de l'ingénieur et des matériaux, de la thermodynamique et des lois de physique fondamentales.* »

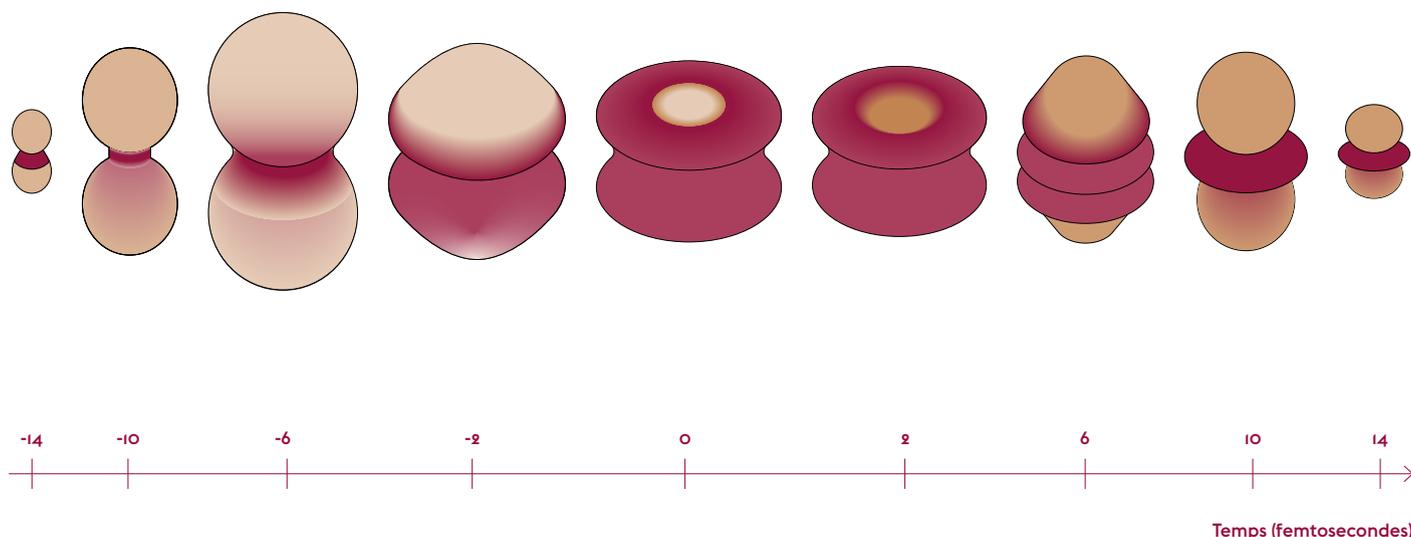
Les applications se situent notamment dans le domaine des éoliennes. « *Toutes les structures qui s'endommagent aléatoirement*, résume Ludovic Chamoin. *On souhaite savoir quand agir, ne pas le faire trop tôt car on cherche à mettre ce type de structure le moins possible à l'arrêt.* »

**Publication** • Guzman E. A. R., Lacroix D. Accessing ground-state and excited-state energies in a many-body system after symmetry restoration using quantum computers. *Phys. Rev. C* 105, 024324, (2022).

Titre

# La science attoseconde pour définir l'infiniment petit

FILM ATTOSECONDE DE L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE



Évolution des orbitales atomiques de l'hélium au cours de son ionisation

**Quels sont les comportements de la matière à une échelle de temps infiniment petite ? Pourrait-on, à cette échelle, observer voire contrôler les interactions de ses constituants ? Quelles en seraient les applications possibles ? Dans plusieurs laboratoires de l'Université Paris-Saclay, des chercheurs et chercheuses spécialistes de la science ultrarapide tentent chaque jour de répondre à ces interrogations.**

Un milliardième de milliardième de seconde. L'attoseconde ( $10^{-18}$  seconde) est l'unité de temps la plus petite actuellement mesurable. À cette échelle, même la lumière est lente : celle-ci ne parcourt « que » 0,3 nanomètres (0,3 nm ou  $0,3 \cdot 10^{-9}$  m) par attoseconde. Au laboratoire Interactions, dynamiques et lasers (LIDYL – Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS), le groupe de recherche Attophysique a pour objectif d'étudier la matière à des échelles de temps femtoseconde ( $10^{-15}$  seconde) et attoseconde. « Les processus de plus en plus petits auxquels nous nous intéressons dans la matière

appartiennent à des échelles de temps de plus en plus petites, explique Pascal Salières, responsable du groupe. Typiquement, la rotation des molécules se fait en quelques picosecondes ( $10^{-12}$  seconde). La vibration des molécules, le mouvement des atomes à l'intérieur des molécules, tout cela s'effectue à l'échelle inférieure : en femtosecondes. » C'est d'ailleurs l'observation à l'échelle femtoseconde des dynamiques atomiques au cours d'une réaction chimique qui vaut au chimiste égypto-américain Ahmed Zewail le prix Nobel de chimie en 1999.

Au-delà de l'échelle atomique se dresse le challenge de l'électron, un des constituants de l'atome. Comment percevoir les dynamiques électroniques, sachant que celles-ci sont encore plus rapides que les mouvements atomiques ? « Concernant l'électron, l'échelle de temps typiquement donnée est de 150 attosecondes. Ce chiffre correspond au temps de rotation d'un électron sur la première orbite de Bohr d'un atome d'hydrogène », précise Pascal Salières. Or, observer les mouvements électroniques conduirait à une étude en détails de processus fondamentaux : le transport d'informations et les transformations de la matière ont pour vecteurs privilégiés les électrons (via les transferts de charge, d'énergie, etc.).

Et après cette étape analytique, viendrait la manipulation de ces processus. « Une fois qu'on aura compris à l'échelle électronique comment ceux-ci se produisent, il nous sera possible d'essayer de les orienter, de les optimiser, de les accélérer, etc. », ajoute le chercheur.

## La problématique des sources de rayonnements attosecondes

Mais à l'aide de quel procédé est-il possible de voir des interactions ultrarapides ? À l'instar d'une photographie, il faut réussir à « capturer » des images à quelques attosecondes ou femtosecondes près. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des impulsions de lumière ultra brèves délivrées par un laser. Mais un problème de taille a longtemps persisté : les lasers sont fondamentalement incapables de former des impulsions attosecondes. « La raison est que l'on se rapproche de la durée du cycle optique : on ne peut pas produire de rayonnements plus brefs que quelques femtosecondes en restant à une longueur d'onde dans le visible ou le proche UV », précise Pascal Salières.

En 1988, des chercheurs et chercheuses du Service de physique des atomes et des surfaces (désormais LIDYL) découvrent la génération d'harmoniques d'ordre élevé : le sésame

qui ouvre la voie vers des impulsions attosecondes. En électromagnétique, plus la longueur d'ondes d'un signal est petite, plus sa fréquence (le nombre d'oscillations du signal par seconde) est grande. Ainsi, en générant des ondes dans le domaine de l'ultraviolet extrême (XUV), il est possible d'obtenir des impulsions à oscillations très rapides et à durée d'impulsion fortement réduites : le record actuel se situe aux alentours de 50 attosecondes. *« On opère en focalisant un laser très intense. Celui-ci passe à travers un jet de gaz, où il interagit avec des atomes. Il lui arrache alors une toute petite fraction du nuage électronique et accélère ses électrons, »* développe Pascal Salières. Mais comme, par définition, le champ laser s'inverse toutes les demi-périodes optiques, les électrons sont rappelés vers les noyaux à ce moment-là. Sauf qu'ils ont accumulé beaucoup d'énergie cinétique au contact du laser, qu'ils restituent sous la forme d'un flash de rayonnement dans l'XUV. *« C'est donc en jouant avec « l'élasticité » de la liaison des électrons avec leur noyau que les scientifiques créent, à chaque demi-période du laser, un flash XUV attoseconde. Tel est d'ailleurs le but de la plateforme ATTOLab, conçue en 2016 et opérée par le LIDYL, qui fournit des sources de rayonnements attosecondes aux utilisateurs de toute l'Europe.*

### Deux impulsions valent mieux qu'une

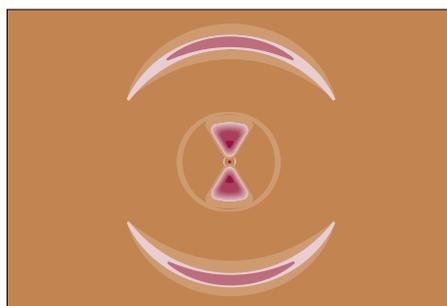
La « photographie » d'un événement à l'échelle attoseconde s'effectue en réalité à l'aide de deux impulsions. C'est tout du moins sur ce principe que repose la méthode « pompe-sonde », utilisée aujourd'hui pour observer de tels processus. *« La "pompe", ou première impulsion, excite d'abord un atome et de ce fait, un des électrons se déplace vers les couches électroniques supérieures, vers la bande de conduction, »* explique Marino Marsi, professeur rattaché au Laboratoire de physique des solides (LPS – Univ. Paris-Saclay, CNRS). Ensuite, l'électron « redescend » dans les couches électroniques, par un processus naturel de désexcitation. Par une seconde impulsion laser, la « sonde », on observe la dynamique de ce phénomène. Cela nous permet d'étudier la nature dans un état quantique excité, de regarder la matière à l'état hors-équilibre. *« En réussissant à moduler l'écart entre les deux impulsions laser, et en répétant l'expérience de nombreuses fois (dans des conditions toujours strictement identiques), les scientifiques reconstituent image par image le processus d'excitation et de désexcitation de la matière, à l'attoseconde près.*

Mais au-delà du « cliché », qu'en est-il de son « enregistrement » ? Le système de capture le plus efficace est celui du spectromètre de type Velocity Map Imaging (VMI). Contrairement

à d'autres techniques de détection, comme le spectromètre à électrons à bouteille magnétique, la résolution angulaire est ici conservée. Ainsi, avec un spectromètre VMI, il est possible de projeter les électrons et de reconstruire leur direction d'éjection ainsi que leur énergie.

Au LIDYL, grâce à la méthode pompe-sonde, les chercheurs et chercheuses du groupe Attophysique ont étudié l'ionisation résonnante à deux photons, à travers des états excités de l'hélium. *« Ces mesures sont très intéressantes car elles nous donnent accès, de façon très fine, au potentiel de mouvement de l'électron et à toutes les interactions électron-électron, électron-noyau, celles des réseaux cristallins. Comprendre ces interactions est fondamental pour étudier les liaisons chimiques »,* explique Pascal Salières. Plein d'espoir, le chercheur parcourt le champ des possibles qu'offre cette nouvelle physique : *« C'est ce genre d'expérience que l'on va ensuite généraliser à des systèmes plus complexes que l'hélium, comme des molécules, des nanoparticules, des solides, etc. pour étudier les corrélations électroniques ». En effet, seules des approximations théoriques sont aujourd'hui capables de traiter ces systèmes complexes. Avec de telles nouvelles expériences, il deviendra envisageable pour les physiciennes et physiciens de confronter et de valider, ou non, les approximations théoriques établies. « Il nous sera possible de mesurer les temps de diffusion des électrons et les effets de décohérence dus à leurs interactions avec l'environnement. Cela est essentiel pour définir les propriétés électriques des matériaux et leur capacité à transporter de l'information. Et nous serons en mesure d'étudier les effets de décohérence dans la photoionisation. »*

### Observer « à l'œil nu » l'émission d'un électron



*« De plus en plus d'applications émergent, maintenant que nous sommes capables de produire des sources de rayonnements attosecondes bien contrôlées »,* dévoile Pascal Salières. Au sein de son groupe au LIDYL, la physique attoseconde sert par exemple à observer le phénomène de l'effet photoélectrique comme jamais auparavant. C'est Heinrich Hertz qui, au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, a défini l'effet photoélectrique le premier. En 1921, Albert Einstein reçoit le prix Nobel

de physique pour sa théorie de l'effet photoélectrique : l'absorption d'une particule d'énergie (un photon) par un atome s'accompagne de l'émission quasi-instantanée d'un électron. C'est ce caractère « quasi-instantané » qui tourmente les chercheurs et chercheuses du LIDYL. Que se passe-t-il entre l'absorption du photon par l'atome et l'éjection d'un électron ?

Grâce aux impulsions attosecondes et à la technique pompe-sonde, les scientifiques réussissent finalement à reconstruire les dynamiques d'émissions d'électrons durant ces phénomènes. En mars 2022, avec des collègues de l'Institut des sciences moléculaires d'Orsay (ISMO – Univ. Paris-Saclay, CNRS), de l'Institut lumière matière (ILM – Univ. Claude Bernard, CNRS) et du Laboratoire de chimie physique - matière et rayonnement (LCPMR – Sorbonne Univ., CNRS), les physiciens et physiciennes du LIDYL publient le tout premier film tridimensionnel qui suit le processus de photoémission, au niveau atomique et à l'échelle attoseconde. Pour la première fois, l'effet photoélectrique théorisé depuis plus de 100 ans est observé, attoseconde par attoseconde. Et par là, les scientifiques résolvent complètement le processus quantique de photoémission à deux photons de l'hélium. Un résultat marquant : la photoémission étant à la base des méthodes d'analyse spectroscopique parmi les plus fines, ces travaux ouvrent la voie à une compréhension approfondie des effets de corrélation électronique dans la matière, depuis les atomes et les molécules jusqu'aux solides.

Lou Barreau, enseignante-chercheuse à l'ISMO, s'intéresse d'ailleurs également à l'effet photoélectrique. *« Grâce à la science attoseconde, nous avons découvert que la photoémission n'est pas instantanée, mais qu'elle est aussi variable selon l'espèce étudiée, l'énergie envoyée et l'environnement de l'atome »,* explique la chimiste, qui souhaite avant tout relier ces analyses à des phénomènes chimiques. Au sein de l'équipe Dynamiques et interactions : rayonnement, atomes, molécules (DIRAM) de l'ISMO, la chercheuse étudie le processus de photoémission au sein de différentes molécules : *« j'analyse la photoémission dans les gaz rares et effectue autrement le suivi de dynamiques (de dissociation ou d'isomérisation) au sein d'une molécule, grâce à la méthode pompe-sonde. J'observe ainsi les couplages dynamiques d'électrons ». Les molécules étudiées sont des composants iodés (le diiode I<sub>2</sub>, le monochlorure d'iode ICl ou le monobromure d'iode IBr), exploitées en phase gazeuse pour des questions pratiques : contrairement aux phases condensées (liquide ou solide), les molécules en phase gazeuse sont isolées et n'interagissent pas avec des solvants, ce qui permet d'accéder à leur dynamique*



intrinsèque. «*Mais l'observation de phénomènes attosecondes en solution est en voie de développement. Cela aurait un intérêt immense ! C'est quelque chose vers lequel la communauté attoseconde se dirige*», explique Lou Barreau.

En partenariat avec l'ISMO, les chercheurs et chercheuses du LIDYL étudient aussi de plus près les éjections d'électrons et ce que ces processus induisent. «*On réalise un trou dans le nuage électronique d'une molécule qui peut par la suite migrer d'un bord à l'autre de la molécule*, détaille Pascal Salières. *En fonction de l'endroit où ce trou se localise, les liaisons de la molécule se fragilisent et cela provoque une fragmentation de la molécule. En contrôlant la localisation de ce trou, il serait possible d'orienter la fragmentation moléculaire et de contrôler la réactivité chimique. Les applications qui suivraient, comme la création de nouveaux produits impossibles à concevoir de façon naturelle, seraient infinies.*»

#### Une physique au champ infini d'applications

Au LPS, Marino Marsi s'intéresse, lui, à la matière quantique et en particulier aux matériaux topologiques. Ceux-ci possèdent des caractéristiques aussi rares qu'intrigantes : un matériau topologique est conducteur d'électricité à sa surface mais isolant en son volume. «*Les électrons de ces matériaux possèdent des propriétés particulières. Ils sont notamment insensibles aux perturbations : ils sont dans des états "protégés". Ce sont ces mêmes propriétés qui font de ces matériaux des conducteurs idéaux*», développe l'enseignant-chercheur. Grâce aux impulsions laser ultrarapides, il étudie les dynamiques électroniques de différents matériaux quantiques (graphène, alliage de bismuth et de sélénium  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , de bismuth et de tellure  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , etc.).

Hébergée au Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS), la plateforme LASERIX est, pour sa part, destinée au développement de sources cohérentes XUV produites par des lasers intenses et à leurs applications. Elle offre à Sophie Kazamias, responsable scientifique de la plateforme, et à diverses équipes la possibilité d'étudier plusieurs types de physiques. Parmi les projets abordés ici, PALLAS vise à mettre au point un accélérateur laser plasma. «*Il s'agit de transformer un gaz en plasma puis de l'exciter, afin de créer un champ électrique qui va par la suite accélérer les électrons*», expliquent Sophie Kazamias et Moana Pittman, le responsable technique de LASERIX. «*Ce type d'accélération est 1 000 fois plus puissant que les technologies actuelles d'accélération de particules. C'est, en revanche, encore très difficile à contrôler*», précisent les scientifiques.

Tout aussi fascinante, l'expérience DeLLight (pour *Deflection of light by light*, déviation de la lumière par la lumière) explore le vide et ses propriétés encore inconnues à l'aide d'un laser à impulsions ultra-intenses. Les chercheurs et chercheuses impliqués souhaitent démontrer que, à l'instar de tout milieu optique existant, le vide est un milieu optique non linéaire. Cela signifie que l'application d'un champ électromagnétique d'une très haute intensité dans le vide serait à même de modifier son indice optique.

Si aujourd'hui l'attoseconde représente une «*barrière ultime*», elle sera vraisemblablement un jour franchie. La zeptoseconde ( $10^{-21}$  seconde) est d'ailleurs déjà évoquée parmi les spécialistes. «*Au début de mes études, la picoseconde était LA frontière ultime !*», se remémore Marino Marsi. Dès lors, on peut se perdre à imaginer quelles nouvelles barrières restent à franchir, et quelles futures découvertes se cachent encore derrière elles.

#### Publications

- A. Autuori *et al.*, Anisotropic dynamics of two-photon ionization: An attosecond movie of photoemission. *Science Advanced* 8, 12, 2022.
- C. Alexandridi *et al.*, Attosecond photoionization dynamics in the vicinity of the Cooper minima in argon. *Physical review research* 3, L012012, 2021.
- Z. Chen *et al.*, Ultrafast electron energy-dependent delocalization dynamics in germanium selenide. *Commun Phys* 4, 138, 2021.
- V. Gruson *et al.*, Attosecond dynamics through a Fano resonance: monitoring the birth of a photoelectron. *Science* 354, 734, 2016.
- S. Robertson *et al.*, Experiment to observe an optically induced change of the vacuum index. *Physical Review A* 103,2 (2021): 023524.
- A. de las Heras *et al.* Extreme-ultraviolet vector-vortex beams from high harmonic generation. *Optica* 9,1 (2022): 71-79.





Journal

## franceinfo:

Titre

### CLASSEMENT DE SHANGHAI: « CETTE 16<sup>E</sup> PLACE CONFIRME LA STATURE INTERNATIONALE » DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY, ESTIME SA PRÉSIDENTE

Si l'université française perd trois places par rapport au classement 2021, elle reste dans le top 20.

« Cette 16<sup>e</sup> place confirme la stature internationale » de l'université Paris-Saclay, a réagi lundi 15 août sur franceinfo sa présidente, Estelle lacona, après la publication du classement de Shanghai dans lequel quatre établissements français se maintiennent dans le top 100. Premier établissement non-anglo-saxon avec sa 16<sup>e</sup> place, l'université Paris-Saclay a toutefois perdu trois places par rapport au classement 2021. « On n'a jamais eu autant d'entreprises qui sont venues discuter et collaborer avec l'université Paris-Saclay depuis que nous sommes classés dans le top 20 de Shanghai », a souligné Estelle lacona.

[https://www.francetvinfo.fr/societe/education/classement-de-shanghai-cette-16e-place-confirme-la-stature-internationale-de-l-universite-paris-saclay-estime-sa-presidente\\_5309809.html](https://www.francetvinfo.fr/societe/education/classement-de-shanghai-cette-16e-place-confirme-la-stature-internationale-de-l-universite-paris-saclay-estime-sa-presidente_5309809.html)

Journal

Titre

### SACLAY LEADS SHANGHAI MATHS RANKING

More French institutions enter subject-specific rankings, to research minister's delight Paris-Saclay University has retained the top spot in the Shanghai Ranking's Global Ranking of Academic Subjects (GRAS) for mathematics, marking its third consecutive year at the top of the table.

<https://www.researchprofessionalnews.com/rr-news-europe-france-2022-7-saclay-leads-shanghai-maths-ranking/>

Journal

Titre

### PARIS-SACLAY PRESIDENT AIMS FOR GLOBAL PROFILE

After predecessor exits to become higher education minister, Estelle lacona is tasked with completing integration of ambitious, elite amalgam.

Making sure France's ambitious mega-university has a truly global profile, and that it bridges the internal divide long thought to weaken the nation's system, are among the aims of its new president, after her predecessor became higher education minister under Emmanuel Macron.

<https://www.timeshighereducation.com/news/paris-saclay-president-aims-global-profile>

Journal

## ThePrint

Titre

### STUDY: SHIFT WORKERS CAN'T ALL ADJUST TO NIGHT SHIFT

Scientists have challenged the widespread belief that shift workers adjust to the night shift, using data drawn from wearable tech.

By monitoring groups of French hospital workers working day or night shifts during their working and free time, the researchers have not only shown that night work significantly disrupts both their sleep quality and their circadian rhythms, but also that workers can experience such disruption even after years of night shift work.

<https://theprint.in/health/study-shift-workers-cant-all-adjust-to-night-shift/1049763/>

Journal

## Medscape

Titre

### FOR CANCER PREVENTION, NOT ALL PLANT-BASED DIETS ARE EQUAL

Following a diet rich in healthy plant-based products may lower one's risk of breast cancer, but not if that diet happens to be high in unhealthy foods, researchers have found.

The study of more than 65,000 people showed that plant-based diets that were high in whole grains, fruits, and vegetables appear to be more protective against breast cancer than diets rich in processed plant-based products, such as juice and chips.

[https://www.medscape.com/viewarticle/975552?src=mkm\\_ret\\_220630\\_mscprmk\\_BC\\_top10&uac=50597MX&impID=4380143](https://www.medscape.com/viewarticle/975552?src=mkm_ret_220630_mscprmk_BC_top10&uac=50597MX&impID=4380143)

Journal

## TECH TIMES

Titre

### MULTICOLORED MARS: RESEARCHERS USE MACHINE LEARNING TO MAP SOURCE OF ANCIENT MARTIAN METEORITES

Mars was struck by an asteroid between five and ten million years ago. It produced a huge crater and launched a fresh meteorite made of ancient Martian crust into space, which finally plummeted into Africa.

Thanks to a supercomputer-powered technique that enabled scientists to study the geology of planets without leaving the planet, the meteorite source was located.

<https://www.techtimes.com/articles/279268/20220817/multicolored-mars-researchers-use-machine-learning-map-source-ancient-martian-meteorites.htm>

# VIE DE CAMPUS

Campus Agro Paris-Saclay – Site Henri Moissan –  
PASS au Kremlin-Bicêtre

Titre

## Première rentrée sur le campus Agro Paris-Saclay

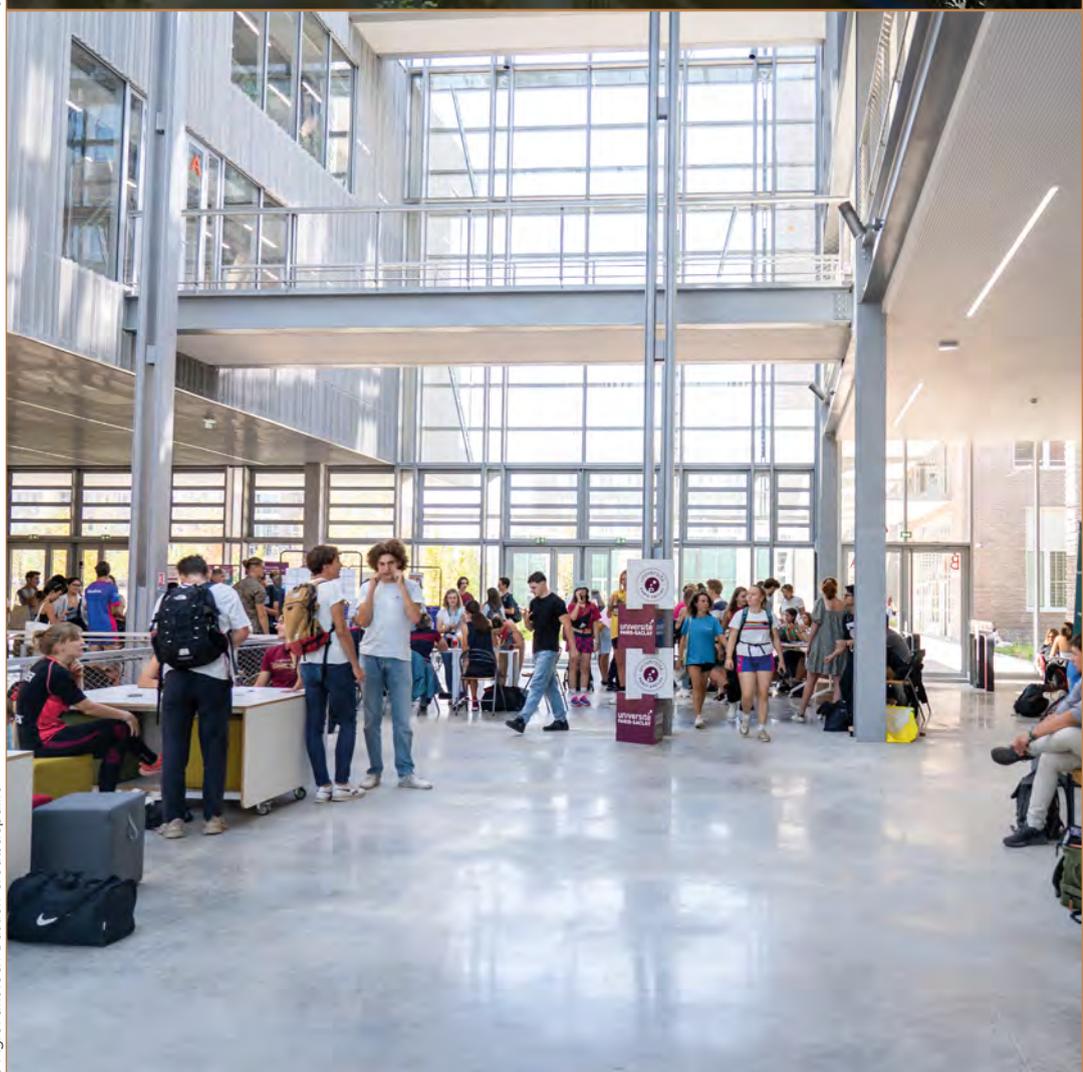
Le nouveau campus concentre sur le plateau de Saclay les étudiantes et étudiants en sciences du vivant et de l'environnement d'AgroParisTech et ses personnels administratifs, techniques et de recherche.

Après une livraison au printemps, puis un progressif emménagement des personnels, des services et des laboratoires durant l'été, le campus Agro Paris-Saclay accueille désormais ses étudiantes et étudiants. « Notre arrivée sur le plateau de Saclay ouvre une nouvelle page de l'histoire de notre établissement. Cette rentrée se fait sous le signe des retrouvailles, entre nos différentes promotions, les disciplines de l'école, mais aussi l'enseignement, la recherche et l'innovation. Cette nouvelle implantation nous offre d'exceptionnelles opportunités de collaboration avec l'ensemble des acteurs du plateau, sur des thématiques variées », commente Laurent Buisson, directeur général d'AgroParisTech.

Situé dans le quartier de Corbeville à Palaiseau, au cœur de l'écosystème universitaire Paris-Saclay, le campus réunit sur un terrain de 4,2 hectares les équipes de recherche AgroParisTech/INRAE et sa communauté étudiante auparavant localisées sur quatre sites franciliens (Paris 5<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup>, Thiverval-Grignon et Massy). Conçu par les architectes Marc Mimram et Jean-Baptiste Lacoudre/Patriarche associés à l'agence de paysage TER, il comprend un ensemble de huit bâtiments – tous certifiés HQE – d'une surface totale de 66 000 m<sup>2</sup> et installé autour d'un parc arboré de près de deux hectares. Formation, recherche et administration se partagent équitablement les lieux.

« Le bâtiment dédié aux travaux pratiques et aux projets expérimentaux est l'aboutissement de dix années de travail, commente l'enseignante-chercheuse Marie-Noëlle Maillard, du département Sciences et procédés des aliments et bioproduits, et du laboratoire SayFood. Les locaux devaient répondre à des enjeux pédagogiques, pour proposer des enseignements mettant au cœur l'approche expérimentale, essentielle à nos futurs diplômés du cursus ingénieur ou master. Deux impératifs s'imposaient à nous : une organisation par zones thématiques pourvues d'installations et d'équipements spécifiques à chaque discipline, et la nécessité de faciliter le développement d'enseignements transversaux, avec une relative porosité entre les zones. Le résultat est à la hauteur de nos attentes. »

Quant aux étudiantes et étudiants, si certains soulignent l'aspect aérien et artificiel des lieux, ou leur gigantisme et leur modernité, tous expriment vouloir se les approprier pleinement.



© AgroParisTech-Christophe Dao

© AgroParisTech-Bastien Croutsdepaillé



Titre

## Le site Henri Moissan ouvre ses portes!



© Yves Chanoit

Sur 74 000 m<sup>2</sup> et six bâtiments en plein quartier du Moulon à Gif-sur-Yvette (Essonne), en face de la future gare Orsay-Gif de la ligne de métro 18 du Grand Paris Express, le second site du pôle Biologie-Pharmacie-Chimie (BPC) de l'Université Paris-Saclay accueille désormais la faculté de pharmacie, l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay (ICMMO) et les masters de chimie et de biologie de l'Université, soit environ 3 300 étudiantes et étudiants et 1 000 membres du personnel.

Site pluridisciplinaire, il vise à être un trait d'union entre enseignement et recherche, à favoriser le brassage des étudiantes et étudiants, à renforcer la cohésion des entités de l'établissement et à améliorer les conditions de travail de tous et toutes.

Centre de gravité du site, le Cœur de pôle est un espace d'accueil et un lieu de rencontre de tous les publics – personnels, étudiants, mais également visiteurs venus à l'occasion d'un événement. Il participe ainsi à l'animation du quartier.

© AgroParisTech-Bastien Croutsdepaillie



Titre

## Le PASS aux portes de Paris(-Saclay)

En cette rentrée universitaire 2022/2023, la faculté de médecine Paris-Saclay accueille pour la première fois des étudiantes et étudiants en première année de formation en santé. Elles et ils sont une centaine, sur les 500 inscrits au Parcours accès spécifique santé (PASS), à rejoindre le campus de la faculté situé au Kremlin-Bicêtre (Val-de-Marne). Les 400 autres fréquentent celui de la faculté des sciences d'Orsay (Essonne). Commune aux filières en santé, la formation PASS prépare les étudiantes et étudiants aux examens d'admission en médecine, maïeutique, odontologie, pharmacie et aux études de kinésithérapie. Cette nouvelle répartition des lieux est liée au déménagement de la faculté de pharmacie sur le campus du plateau de Moulon, à Gif-sur-Yvette, concomitant de la livraison du nouveau bâtiment de la faculté de médecine. L'Université Paris-Saclay poursuit ainsi son ancrage territorial en proposant pour le PASS un site d'enseignement proche de Paris.

© AgroParisTech-Bastien Croutsdepaillie



ON Y ÉTAIT			Date	Lieu	Hôte	Date	Lieu	Hôte
<h2>JUIN</h2>			19	Centrale-Supélec bâtiment Bouygues	AllCan	3 au 5	MAPS	CPAM – Univ. Paris-Saclay
			<p><b>SÉMINAIRE DE RECHERCHE ALLCAN</b></p> 			<p><b>WEBINAIRE « ACCÈS AU DROIT À LA SANTÉ – TOUT SAVOIR »</b></p>		
Date	Lieu	Hôte	Titre			Description		
2	ENS Saclay	GS MRES Univ. Paris-Saclay	<p>AllCan, l'objet interdisciplinaire regroupant des laboratoires de recherche de l'Université Paris-Saclay autour d'objectifs du développement durable, organise son premier séminaire de recherche, ouvert à tous et toutes !</p> <p><a href="https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/seminaire-de-recherche-allcan">https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/seminaire-de-recherche-allcan</a></p>			<p>Le Service de santé universitaire (SSU) lance sa campagne de sensibilisation à l'accès aux droits à la santé et aux soins. Cette campagne a pour but d'informer et d'accompagner les étudiantes et étudiants sur les démarches administratives. Elle se compose d'un webinaire puis d'un escape game.</p> <p><a href="https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/acces-aux-droits-la-sante-tout-savoir">https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/acces-aux-droits-la-sante-tout-savoir</a></p>		
<p><b>CONGRÈS JUNIOR PLURIDISCIPLINAIRE</b></p> 			Description			Date		
<p>La Graduate School (GS) Métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur (MRES) a organisé la première édition de son Congrès junior pluridisciplinaire. Au programme, une série de présentations, des posters et plus d'une dizaine de projets récompensés !</p> <p><a href="https://www.universite-paris-saclay.fr/gs-mres-congres-junior">https://www.universite-paris-saclay.fr/gs-mres-congres-junior</a></p>			21	Jardin de la bibliothèque universitaire d'Évry	Univ. d'Évry	6	Télécom Paris	LabEx Digosme
<h2>NE PAS MANQUER</h2>			Titre			Titre		
<h2>SEPTEMBRE</h2>			<p><b>KERMESSE DES ASSOCIATIONS ÉTUDIANTES</b></p>			<p><b>JWOC 2022, LA CONFÉRENCE JUNIOR SUR LES COMMUNICATIONS SANS FIL ET OPTIQUES</b></p> 		
Date	Lieu	Hôte	Description			Description		
15	Complexe omnisports universitaire de Moulon	SUAPS Univ. Paris-Saclay	<p>Pour célébrer la rentrée 2022, les associations étudiantes de l'Université d'Évry organisent une grande kermesse avec des dizaines de stands pour présenter leurs nombreux projets et activités.</p> <p><a href="https://www.univ-evry.fr/evenements/agenda-des-evenements-vie-etudiante/rentree-2022/kermesse-des-associations-etudiantes.html">https://www.univ-evry.fr/evenements/agenda-des-evenements-vie-etudiante/rentree-2022/kermesse-des-associations-etudiantes.html</a></p>			<p>Le LabEx DigiCosme organise la 4<sup>e</sup> édition de la <i>Junior Conference on Wireless and Optical Communications (JWOC)</i>. Cette conférence donne l'opportunité aux étudiantes et étudiants de présenter les résultats de leurs travaux de recherche dans le domaine des communications optiques et sans fil.</p> <p><a href="https://digicosme.cnrs.fr/jwoc-2022-la-conference-junior-sur-les-communications-sans-fil-et-optiques/">https://digicosme.cnrs.fr/jwoc-2022-la-conference-junior-sur-les-communications-sans-fil-et-optiques/</a></p>		
<h2>OCTOBRE</h2>			Titre			Titre		
<h2>DÉFI 2024 KM</h2>			2 au 7	Aussois	LPS	<p><b>FORUM VIRTUEL DE LA MOBILITÉ ÉTUDIANTE 2022</b></p> 		
Description			Description			Description		
<p>Pour célébrer l'arrivée des Jeux olympiques et paralympiques à Paris en 2024, le Service universitaire des activités physiques et sportives (SUAPS) de l'Université Paris-Saclay organise une grande journée de sports dans le flambant neuf complexe omnisports universitaire de Moulon !</p> <p><a href="https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/defi-2024-km">https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/defi-2024-km</a></p>			<p>Le Laboratoire de physique du solide (LPS – Univ. Paris-Saclay, CNRS) participe à l'organisation d'une école en Savoie consacrée aux lasers à électrons libres émettant dans le régime des rayons X (XFEL), pour l'étude de la matière condensée.</p> <p><a href="https://xfelshool2022.sciencesconf.org/">https://xfelshool2022.sciencesconf.org/</a></p>			<p>Pour sa troisième édition, le forum virtuel de la mobilité étudiante a pour objectif de permettre aux curieuses et curieux des expériences internationales de se documenter, d'écouter des témoignages d'étudiantes et étudiants étant déjà partis à l'international, et de valoriser leurs expériences.</p> <p><a href="https://forum-mobilite-etudiante-upsaclay2022.fr/fr">https://forum-mobilite-etudiante-upsaclay2022.fr/fr</a></p>		
Date	Lieu	Hôte	Titre			Titre		
à partir du 15	tous les campus de l'UVSQ	UVSQ	<h2>LES RENTRÉES CLIMAT DE L'UVSQ</h2>			<h2>JWOC 2022</h2>		
Description			Description			Description		
<p>À partir du 15 septembre, l'UVSQ organisera sur tous ses campus des ateliers ludiques « Fresque du climat » ayant pour but d'apprendre et d'échanger autour des enjeux de la transition écologique et du développement durable.</p> <p><a href="https://www.uvsq.fr/luvsq-organise-ses-rentrees-climat-1">https://www.uvsq.fr/luvsq-organise-ses-rentrees-climat-1</a></p>								

Ont contribué à ce numéro :

• **Lou Barreau**, enseignante-chercheuse à l'Institut des sciences moléculaires d'Orsay (ISMO – Univ. Paris-Saclay, CNRS) • **Olivier Bruneau**, directeur du Laboratoire universitaire de recherche en production automatisée (LURPA – Univ. Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay) • **Ludovic Chamoin**, responsable de l'équipe STAN au Laboratoire de mécanique Paris-Saclay (LMPS – Univ. Paris-Saclay, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay, CNRS) • **Charlène Corty**, chargée de projets sciences-société à la Diagonale Paris-Saclay • **Florian Delcourt**, responsable de l'ingénierie culturelle à l'association S[cube] • **Nathalie De Noblet-Ducoudré**, chercheuse au sein du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE – Univ. Paris-Saclay, CNRS, CEA, UVSQ) • **Sébastien Descotes-Genon**, chercheur au Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS) • **Marie Erard**, directrice-adjointe de l'Institut de chimie-physique (ICP – Univ. Paris-Saclay, CNRS) et coordinatrice du programme complémentaire personnalisé BioProbe • **Volny Fages**, responsable du diplôme universitaire Recherche-création de l'ENS Paris-Saclay • **Marine Froissard**, chercheuse à l'Institut Jean-Pierre Bourgin (IJPB – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech) • **Jeanne Gherardi**, enseignante-chercheuse au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE – Univ. Paris-Saclay, CNRS, CEA, UVSQ) et co-responsable du diplôme universitaire Agir pour le climat • **Christine Hatté**, chercheuse au sein du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE – Univ. Paris-Saclay, CNRS, CEA, UVSQ) • **Sabine Houot**, chercheuse au laboratoire Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (ECOSYS – Univ. Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE) • **Sophie Kazamias**, responsable scientifique de la plateforme LASERIX hébergée au Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS) • **Claire Lartigue**, vice-présidente adjointe en charge des masters de l'Université Paris-Saclay • **Nicolas Leroy**, directeur du groupe Ondes gravitationnelles au Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS) • **Steve Mahaut**, chercheur au Laboratoire de méthodes de contrôle du CEA-List (Univ. Paris-Saclay, CEA) • **Julie Malclès**, responsable du groupe CMS au Département de physique des particules (DPhP – Univ. Paris-Saclay, CEA) de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers • **Marino Marsi**, chercheur au Laboratoire de physique des solides (LPS – Univ. Paris-Saclay, CNRS) et responsable du master Erasmus Mundus QUARMEN

• **Hicham Maskrot**, responsable du Laboratoire d'ingénierie des surfaces et laser au sein du Département de physico-chimie (Univ. Paris-Saclay, CEA) • **Thierry Ruchon**, chercheur au Laboratoire interactions, dynamiques et lasers (LIDYL – Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS) • **Pascal Salières**, responsable du groupe de recherche Attophysique au laboratoire Interactions, dynamiques et lasers (LIDYL – Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS) • **Hamidou Soumare**, membre de l'équipe organisatrice du festival «Vo-Vf, traduire le monde» • **Bernard Yannou**, directeur-adjoint de la Recherche à CentraleSupélec

Membres du Comité éditorial ayant participé au numéro :

**Delphine Achour-Carbonell • Loïc Assaud • Marie Beuneu • Julie Bernede • François Bugeon • Bruno Chanetz • Pascal Corbel • Morgann Crozet • Frédérique Delville • Gaëlle Giraudier • Claire Janoir-Jouveshomme • Olivier Kahn • Cécile Mathey • Catalin Miron • David Néron • Cécile Oriot • Florence Parizot • Cécile Pérol • François Robinet • Jacqui Shykoff • Odile Stephan • Tiina Suomijarvi**

Directrice de la publication : Estelle Iacona

Directrice de la rédaction : Brigitte Bourdon

Rédactrice en chef : Véronique Meder

Rédaction : Antoine Duval, Claire Gerardin, Alexandre Mathieu, Véronique Meder, Patricia Muller, Lucile Rabiet

Direction artistique : The Shelf Company

Impression : Stipa

ISSN 2679-4845 (imprimé)

ISSN 2777-4007 (en ligne)

Dépôt légal à parution

À LIRE  
THE CONVERSATION

« Pervers narcissiques » : pourquoi ce terme donne l'impression qu'ils sont partout ?

Marc Joly, sociologue au laboratoire Professions, institutions, temporalités (PRINTEMPS – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, CNRS) fait état d'une enquête sociologique concernant l'usage et la diffusion de l'expression « pervers narcissique » et revient sur la généalogie de ce concept de psychopathologie clinique.

<https://theconversation.com/pervers-narcissiques-pourquoi-ce-terme-donne-limpression-quils-sont-partout-184961>

Ce qu'il faut retenir de la mission Curiosity après dix années sur Mars

Cyril Szopa, professeur des universités et exobiologiste au Laboratoire atmosphères, modélisation et observations spatiales (LATMOS – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, CNRS, Sorbonne Univ.), et des collaborateurs du CNES dressent, à l'occasion des dix ans de l'atterrissage sur la planète Mars de l'astromobile Curiosity, un bilan technique et scientifique de cette mission et évoquent les découvertes réalisées avec les instruments embarqués.

<https://theconversation.com/ce-quil-faut-retenir-de-la-mission-curiosity-apres-dix-annees-sur-mars-188034>

Coupon

ABONNEZ-VOUS



en envoyant votre nom, prénom, adresse postale et email à :  
ledition@universite-paris-saclay.fr

ou en envoyant ce coupon par la Poste à :  
Université Paris-Saclay – Direction de la marque et de la communication  
Bâtiment Breguet – 3 rue Joliot-Curie  
91190 Gif-sur-Yvette – France

Merci et bonne lecture !

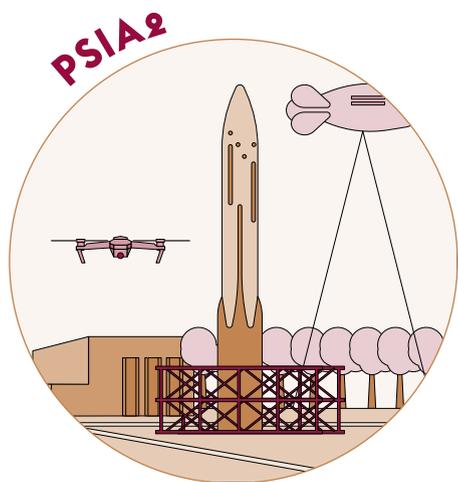
nom	prénom
.....	.....
adresse	ville
.....	.....
code postal	pays
.....	.....
courriel	
.....	

# LES OBJETS INTERDISCIPLINAIRES DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY (2/3)

## Hub PASREL

« Paris-Saclay formation recherche & hôpital » vise à construire l'interface entre l'écosystème « technologie pour la santé » et les hôpitaux de Paris-Saclay. Ses axes concernent les technologies pour la recherche médicale, y compris la combinaison de l'imagerie et de l'intelligence artificielle, et les technologies pour l'innovation organisationnelle en santé. Il s'inscrit dans la médecine des « 4P » (prédictive, préventive, personnalisée, participative) et se veut un démonstrateur de « l'hôpital du futur ».

GS impliquées: Économie & Management; Informatique et sciences du numérique; Health and Drug Sciences; Life Sciences and Health; Sciences de l'ingénierie et des systèmes; Sociologie et science politique.



Paris-Saclay Institute of Aeronautics and Astronautics fédère et met en visibilité les activités scientifiques autour de l'aérospatial et de ses impacts. Ses principales thématiques s'articulent entre la modélisation des systèmes engins aéronautiques et spatiaux, leur conception, leurs propriétés et la mécanique de vol. Elles concernent également le développement de modes de propulsion innovants à empreintes environnementale et climatique réduites.

GS impliquées: Chimie; Droit; Géosciences, Climat, Environnement, Planètes; Économie & Management; Informatique et sciences du numérique; Mathématiques; Métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur; Physique; Sciences de l'ingénierie et systèmes.

## Metabiodivex

Metabiodivex a pour objectif l'exploration et la valorisation des ressources naturelles pour la santé, l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Il concerne la recherche sur les substances naturelles et ses applications et notamment sur les métabolites spécialisés des organismes vivants (plantes, animaux, micro-organismes) en lien avec l'environnement, les agrosociétés et la santé.

GS impliquées: Biosphera; Chimie; Health and Drug Sciences; Informatique et sciences du numérique; Life Sciences and Health.

## MICROBES

L'objectif de MICROBES est de devenir le centre interdisciplinaire des sciences microbiennes de l'Université. Il se situe à l'interface entre biologie, écologie, chimie, médecine, pharmacologie, physique, mathématiques appliquées, informatique et ingénierie. Il cherche à améliorer la compréhension fondamentale des organismes microbiens et à la lier à la santé, l'environnement, le climat, l'énergie, la biodiversité, l'agriculture, l'alimentation et la rénovation industrielle.

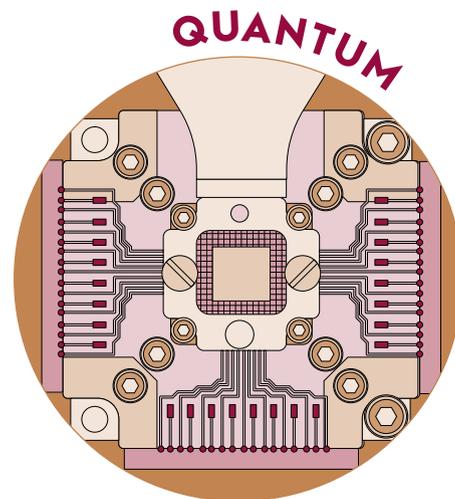
GS impliquées: Biosphera; Chimie; Health and Drug Sciences; Informatique et sciences du numérique; Life Sciences and Health; Physique; Sciences de l'ingénierie et des systèmes.

**Les objets  
interdisciplinaires  
ont pour objectif  
de porter des actions  
de recherche,  
de formation  
et d'innovation entre  
plusieurs Graduate  
Schools (GS)  
de l'Université,  
favorisant ainsi  
les collaborations  
sur des thématiques  
transverses.**

## PsiNano

PsiNano recouvre le domaine des nanosciences. Les axes concernent la nanophotonique et la nanoélectronique de spin pour l'émergence des technologies quantiques, la nanochimie et les nanomatériaux pour l'optoélectronique, les nanomédicaments et les nanosystèmes pour le diagnostic de maladies sévères, les nano-objets pour le contrôle et la récupération de l'énergie.

GS impliquées: Chimie; Health and Drug Sciences; Institut des sciences de la lumière; Physique.



QUANTUM couvre un champ très large des sciences et technologies quantiques. Il explore de nombreuses plateformes pour le développement des fonctionnalités quantiques, allant des particules sans masse et sans interactions comme les photons, des atomes uniques isolés ou en interaction, jusqu'aux systèmes mésoscopiques électroniques à bases de semi-conducteurs ou supraconducteurs.

GS impliquées: Chimie; Informatique et sciences du numérique; Institut des sciences de la lumière; Mathématiques; Physique; Sciences de l'ingénierie et des systèmes.