

L'Édition de l'université paris-saclay hiver 2022/23

Numéro

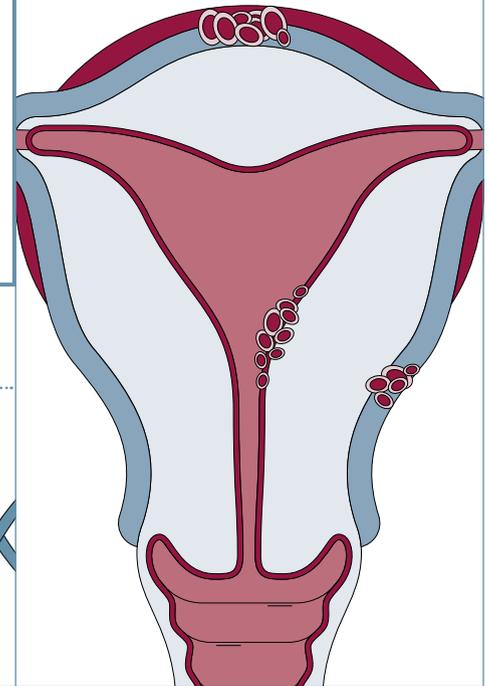
20

Rubrique et thématique

Recherche – Endométriose
et système reproducteur

Page

19



Rubrique

Formation

Page

04

Rubrique et thématique

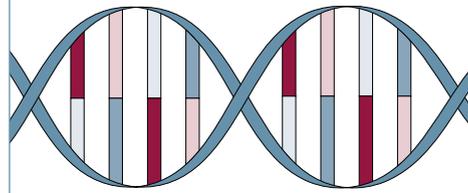
Recherche – Épигénétique

Page

11

Titre

**L'ENGAGEMENT
ÉTUDIANT:
UNE EXPÉRIENCE
RECONNUE ET
VALORISÉE**



Rubrique

Médiation des sciences

Page

06

Rubrique et thématique

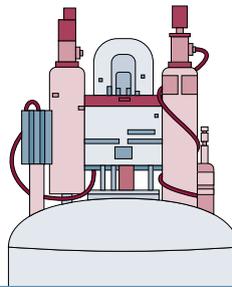
Business & Innovation – Les plateformes
de l'Université Paris-Saclay

Page

14

Titre

**LES ÉCOLES D'ÉTÉ
À L'UNIVERSITÉ
PARIS-SACLAY**



Rubrique

Vue d'ailleurs

Page

23

Titre

**NOBEL PRIZE
IN PHYSICS
IS AWARDED
TO 3 SCIENTISTS**

Rubrique et thématique

Recherche – Fusion nucléaire

Page

08

Rubrique et thématique

Recherche – Autisme

Page

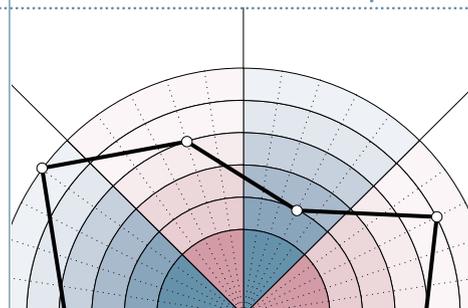
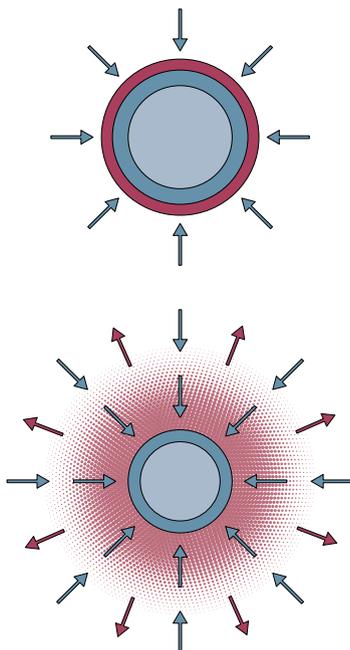
16

Rubrique

Vie de campus

Page

24



Titre

**LES CAMPUS
FONT LEUR
CINÉMA**

**université
PARIS-SACLAY**

Adresse

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

Site internet

www.universite-paris-saclay.fr



CHERCHEURS / CHERCHEUSES



© Université Paris-Saclay

Alain Aspect s'est vu récompenser du **prix Nobel de physique 2022**. Le professeur à l'Institut d'Optique Graduate School (IOGS) / Université Paris-Saclay, professeur affilié à l'ENS Paris-Saclay et professeur associé à l'École polytechnique, mais aussi directeur de recherche émérite au Laboratoire Charles Fabry (LCF - Univ. Paris-Saclay, IOGS, CNRS), partage cette récompense avec l'américain John F. Clauser et l'autrichien Anton Zeilinger. Ce sont leurs expériences sur l'intrication quantique, ayant notamment ouvert la voie aux technologies quantiques, qui sont récompensées.

Abdelhafid Bendahmane et **Michèle Tixier-Boichard** sont tous deux récompensés de la **médaille d'or 2022 de l'Académie d'agriculture de France**, décernée par l'INRAE. Directeur-adjoint de l'Institut des sciences des plantes Paris-Saclay (IPSP - Univ. Paris-Saclay, CNRS, INRAE, Univ. d'Évry, Univ. Paris Cité), Abdelhafid Bendahmane est reconnu pour sa créativité et l'excellence de ses travaux dans le domaine des sciences végétales. Michèle Tixier-Boichard, directrice de recherche de l'unité Génétique animale et biologie intégrative (GABI - Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech), œuvre pour collecter, caractériser, conserver et distribuer les ressources biologiques utiles à la connaissance de la biodiversité.



© Cyril Frésillon / CNRS

Julien Bobroff, professeur de physique et animateur de l'équipe de recherche La physique autrement du Laboratoire de physique des solides (LPS - Univ. Paris-Saclay, CNRS), a été récompensé de la **médaille de la médiation scientifique 2022 du CNRS**. Spécialiste de la physique de la matière condensée, Julien Bobroff est également reconnu pour ses travaux de vulgarisation, concernant notamment la physique fondamentale.

Bérengère Dubrulle, directrice de recherche au Service de physique de l'état condensé (SPEC - Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS), est lauréate du prix de la **Femme scientifique de l'année**, remis lors de la cérémonie du prix Irène Joliot-Curie organisée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. À cette occasion, **Céline Bellard**, chercheuse au Laboratoire Écologie, systématique et évolution (ESE - Univ. Paris-Saclay, AgroParis-Tech, CNRS), a reçu le **Prix spécial de l'engagement** et **Nina Hadis Amini**, chercheuse au Laboratoire des signaux et systèmes (L2S - Univ. Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS) s'est vue attribuer le prix de la **Jeune femme scientifique**.

David Ruelle, professeur émérite à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES), figure parmi les trois lauréats de la prestigieuse **médaille Dirac**. Attribuée par l'*International Center for Theoretical Physics* « Abdus Salam » (ICTP) de Trieste, cette médaille récompense des chercheurs et chercheuses pour leurs contributions à la physique théorique.

Henri Vicenti, du Laboratoire interactions, dynamiques et lasers (LIDYL - Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS) a été récompensé du prix le plus prestigieux dans le domaine du calcul haute performance : le **prix Gordon Bell 2022**. Cette récompense souligne les travaux de l'équipe dont fait partie le chercheur sur la modélisation réaliste d'accélérateurs de particules à base de laser.

Huit chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay ont été récompensés par l'Académie des sciences. **Nabila Aghanim**, de l'Institut d'astrophysique spatiale (IAS - Univ. Paris-Saclay, CNRS), a reçu le **grand prix Huy Duong Bui 2022**; **Suheyla Bilgen**, du Laboratoire de physique des deux infinis - Irène Joliot Curie (IJCLab - Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CNRS), a reçu le **prix Madeleine Lecoq 2022**; **Thierry Bodineau**, du Laboratoire Alexander Grothendieck (LAG - Univ. Paris-Saclay, IHES, CNRS), a reçu le **prix Sophie Germain - Fondation de l'Institut de France 2022**; **Yann Brenier**, du Laboratoire de mathématiques d'Orsay (LMO - Univ. Paris-Saclay, CNRS, Inria), a reçu le **prix Ampère de EDF 2022**; **Marco Di Renzo**, du Laboratoire des signaux et systèmes (L2S - Univ. Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS), a reçu le **prix Michel Monpetit - Inria 2022**; **Igor Ferrier Barbut**, du Laboratoire Charles Fabry (LCF - Univ. Paris-Saclay, Institut d'Optique Graduate school, CNRS) et **Emmanuel Flurin**, du Service de physique de l'état condensé (SPEC - Univ. Paris-Saclay, CEA, CNRS), ont reçu le **grand prix Jacques Herbrand 2022**; **Isabelle Grenier**, du Laboratoire Astrophysique, instrumentation modélisation (AIM - Univ. Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, CEA, CNRS), a reçu le **prix CNES-Astrophysique et sciences spatiales 2022**; **Amaëlle Landais**, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE - Univ. Paris-Saclay, UVSQ, CEA, CNRS), a reçu le **prix sur la recherche scientifique en zone polaire et subpolaire 2022**.

ÉTUDIANTES / ÉTUDIANTS

Herikalaina Rakotoarison, doctorant au Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (LISN - Univ. Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, Inria), a remporté le **prix doctorant STIC 2022** du plateau de Saclay. Ce prix est organisé par l'école doctorale STIC (Sciences et technologies de l'information et de la communication) de l'Université Paris-Saclay, l'école doctorale de l'Institut Polytechnique de Paris et le Labex DigiCosme. **Jeanne Redaud** du Laboratoire des signaux et systèmes (L2S - Univ. Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec), a été retenue comme **accessit du prix de thèse**.

Cinq jeunes chercheuses de l'Université Paris-Saclay ont été récompensées lors de la 16^e édition du **prix Jeunes Talents France Fondation L'Oréal-UNESCO pour les Femmes et la Science**: **Rachel Breton**, doctorante à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay (Neuro-PSI - Univ. Paris-Saclay, CNRS), **Alice Contat**, doctorante au Laboratoire de mathématiques d'Orsay (LMO - Univ. Paris-Saclay, CNRS), **Elsa Ducrot**, post-doctorante au laboratoire Astrophysique, instrumentation, modélisation (AIM - Univ. Paris-Saclay, CNRS, CEA, Univ. Paris Cité), **Anne Nguyen**, doctorante du Laboratoire Charles Fabry (LCF - Univ. Paris-Saclay, IOGS, CNRS) et **Tina Nikoukhah**, doctorante en mathématiques appliquées au Centre Borelli (Univ. Paris-Saclay, CNRS, ENS Paris-Saclay, Univ. Paris Cité, SSA).

ENTREPRISES / PROJETS



© Cindy Clara Costa

À l'occasion de la neuvième édition du **prix Pépîte**, organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, en collaboration avec la Région Île-de-France et Bpifrance, deux entreprises innovantes portées par des étudiantes et étudiants de l'Université Paris-Saclay ont été récompensées: **QuantIM** et **Eyeekeepit**.



© Univ. Paris-Saclay / Christophe Peus

Face à la situation énergétique actuelle, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a demandé, fin septembre 2022, aux établissements de mettre en place des mesures de sobriété avec l'objectif de réduire la consommation énergétique de 10 % en 2024 par rapport à 2019. Consciente des enjeux environnementaux, l'Université Paris-Saclay s'est engagée depuis plusieurs années dans une démarche vers un développement plus soutenable au travers de ses priorités de recherche, de la formation des étudiantes et étudiants et de la réduction de ses impacts.

Dans les laboratoires de l'Université, toute une communauté de recherche s'active pour développer des solutions énergétiques bas carbone, capables de compenser l'abandon des énergies fossiles dont les émissions de gaz à effet de serre sont à l'origine du réchauffement climatique, et de satisfaire les besoins énergétiques des êtres humains. Dans ce nouveau numéro de la revue de l'Université, vous découvrirez l'implication de certains d'entre eux dans les projets entourant la fusion nucléaire et la mise au point de futurs réacteurs à fusion qui pourraient, à long terme, produire une énergie décarbonée.

Ce numéro met également en avant une maladie trop souvent silencieuse mais aux souffrances bien réelles pour nombre de femmes et les recherches émergentes pour mieux la comprendre : l'endométriose. Un autre sujet de santé est au cœur de cette revue : les troubles du spectre autistique, eux-mêmes encore assez mal cernés, et la question de leur diagnostic. Enfin, l'épigénétique, l'étude des mécanismes qui régulent l'expression des gènes sans modifier la séquence d'ADN, passionne les scientifiques par la diversité des domaines dans lesquels elle est impliquée.

Au-delà de ces quatre thématiques, c'est tout le potentiel de recherche et d'innovation de l'Université et de ses laboratoires qui est mis à l'honneur dans ce numéro via les nombreuses plateformes technologiques que compte l'Université.

Par ailleurs, soucieuse de reconnaître l'engagement (bénévole, associatif, professionnel...) de ses étudiantes et étudiants et leurs expériences, l'Université met à leur disposition un dispositif valorisant, non pas le type d'engagement choisi, mais les compétences transverses et les savoirs acquis au cours de l'expérience.

Enfin, c'est par le biais de certains films, téléfilms, séries que vous apprendrez à mieux connaître nos campus, plébiscités comme lieux de tournage par les équipes de production.

Et comme ce numéro d'hiver paraît en tout début d'année 2023, je profite de l'occasion qui m'est donnée pour, au nom de l'Université, de ses communautés étudiantes et de ses personnels, vous adresser mes meilleurs vœux pour cette nouvelle année et vous souhaiter tout le succès possible dans vos différents projets.

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



Titre

L'engagement étudiant : une expérience reconnue et valorisée



© Corinne Hameau / Université Paris-Saclay

Nombreux sont aujourd'hui les étudiantes et étudiants engagés bénévolement dans le monde associatif, exerçant une activité professionnelle, appartenant à la réserve opérationnelle ou engagés comme sapeurs-pompiers volontaires. Pour valoriser ces expériences, qui sont autant d'occasions d'acquérir de nouvelles compétences, l'Université Paris-Saclay met à leur disposition un dispositif de reconnaissance et de valorisation de leurs engagements.

Les évolutions législatives de ces dernières années, et notamment la loi n°2017-86 relative à l'égalité et à la citoyenneté, ont fait progresser la prise en compte de l'engagement étudiant. Soucieuses de reconnaître et de valoriser l'engagement sous toutes ses formes, certaines composantes et universités membres-associés de l'Université Paris-Saclay ont, dès 2018 – voire beaucoup plus tôt comme l'Université d'Évry –, mis en place différentes sortes de procédures : unités d'enseignement attribuant des crédits ECTS,

options supplémentaires, octroi de points bonus, etc. Si les modalités diffèrent en fonction des établissements et composantes, l'objectif reste le même : valoriser, non pas le type d'engagement choisi, mais bien les compétences transverses et les savoirs acquis au cours de cette expérience. Un objectif que l'Université Paris-Saclay fait sien aujourd'hui en proposant, en complément et non en remplacement de l'existant, un dispositif transverse s'adressant à toutes ses étudiantes et tous ses étudiants.

Reconnaître la diversité des profils

Toutes celles et ceux qui souhaitent valoriser leur engagement peuvent désormais obtenir un certificat d'engagement étudiant. « Avec ce dispositif, notre ambition est de reconnaître la diversité des profils de nos étudiantes et étudiants, et de valoriser dans chaque formation l'acquisition de compétences propres », explique Dorian Colas des Francs, coordinateur du pôle pilotage de l'offre de formation et gestion de la scolarité à la direction de la Formation et de la Réussite (DFR) de l'Université Paris-Saclay.

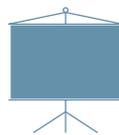
Pour obtenir ce certificat, les candidates et candidats doivent fournir un CV et une lettre d'une personne tierce attestant de leur engagement.

« On leur demande également de rédiger un rapport décrivant l'activité dans laquelle elles et ils se sont engagés, les compétences acquises au cours de cette expérience et leur utilité par rapport à leur cursus », précise Dorian Colas des Francs. Une fois finalisé, ce dossier est étudié par le référent Engagement de la composante puis passe devant une commission d'établissement qui, après avoir étudié l'ensemble des dossiers, prend la décision de certification.

Ancien étudiant de l'IUT de Cachan engagé dans une activité de tutorat auprès de collégiens au sein de la Cordée À nous la réussite, Kenzi Boukantar se réjouit d'avoir bénéficié de ce dispositif. « Si cette certification permet, bien sûr, d'ajouter une ligne sur un CV, elle contribue aussi à promouvoir l'engagement sous toutes ses formes. Un excellent moyen d'inspirer d'autres étudiantes et étudiants à s'engager à leur tour ! »

Valoriser l'engagement et les profils qui se démarquent

S'il est une discipline où l'engagement est une tradition, c'est bien la médecine. « Tout le monde s'en est rendu compte avec le déclenchement de la crise sanitaire en 2020 et la formidable mobilisation de nos étudiantes et étudiants. Mais déjà, bien avant cela, leur engagement dans l'humanitaire,



le tutorat ou les associations étudiantes a toujours été important. Il était donc grand temps, qu'au-delà de la simple reconnaissance, ces démarches soient valorisées», explique Olivier Lambotte, professeur des universités à la Faculté de médecine de l'Université Paris-Saclay. C'est pourquoi la Faculté a mis en place deux dispositifs : une unité d'enseignement libre créditée de 3 ECTS équivalent à 10 % de points accordés à la valorisation de l'engagement ; la possibilité de valoriser l'engagement sur des actions de prévention d'étudiantes et d'étudiants en troisième année d'études de santé.

Du côté de la Faculté Jean Monnet, elles et ils sont chaque année entre 60 et 80 à demander la valorisation de leur engagement. «Un nombre dont on constate depuis 2018 qu'il a tendance à augmenter», indique Maxime Jorland, enseignant chargé de suivi pédagogique à la Faculté Jean Monnet. Deux manières de valoriser l'engagement ont également été retenues, dès la rentrée 2018, au sein de cette faculté : une unité d'enseignement Projet personnel pour les étudiantes et étudiants de deuxième année de licence, qui donne la possibilité de valoriser un engagement sur l'année en cours ; une option facultative ouverte à toutes les étudiantes et étudiants et rapportant jusqu'à 0,25 point bonus par année. «Outre la volonté de valoriser les compétences transverses, c'est aussi la perspective d'encourager les profils se démarquant qui a motivé notre démarche de valorisation de l'engagement», précise Maxime Jorland.

S'ouvrir à d'autres formes d'engagement

Pionnière dans la démarche de valorisation de l'engagement étudiant avec la création, dès 2011, d'une unité d'enseignement libre, l'Université d'Évry a quant à elle profité du décret d'application de la loi de 2017 pour élargir son public cible et étoffer son dispositif de valorisation avec deux nouvelles modalités : la bonification de la moyenne générale et la dispense de matière et de stage. «À travers ces différentes modalités de valorisation, nous souhaitons non seulement valoriser l'engagement étudiant sous toutes ses formes, mais aussi le promouvoir, grâce au soutien de partenaires du territoire comme le Sdis91, Animafac ou AFEV», explique Maria Munier, directrice de la Vie étudiante et de Campus de l'Université d'Évry.

C'est également cette volonté d'ouverture vers d'autres formes d'engagements qui est à l'origine de la création, par l'Université de Versailles - Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), d'une unité d'enseignement libre créditée de trois ECTS, accessible à toutes les étudiantes et étudiants de l'UVSQ justifiant d'au moins six mois d'engagement. «Organisée autour

de sept séances, cette formule permet bien sûr d'apprendre à valoriser sur un CV ou dans un entretien les compétences acquises au cours d'un engagement, mais aussi de découvrir d'autres formes d'engagement vers lesquelles se tourner, que ce soit au sein de l'université, dans la réserve ou dans la solidarité internationale. Cette démarche donne lieu à des échanges très intéressants et, quelques fois, à de nouveaux engagements !», explique Sébastien Floquet, professeur et référent défense à l'UVSQ.

Une année spécifique d'engagement pour les normaliennes et normaliens

Convaincue que certains engagements participent à la construction de la personnalité scientifique et citoyenne de ses élèves, l'École normale supérieure Paris-Saclay vient quant à elle de mettre en place, en septembre 2022, une Année spécifique de parcours engagement normalien (ASPEN) pour valoriser ce type d'initiatives au sein de son diplôme. Positionnée en 3^e année du diplôme, l'ASPEN s'appuie sur la construction par le normalien ou la normalienne d'un projet d'engagement, sa réalisation au sein d'une institution d'accueil lors de cette année et le suivi d'enseignements complémentaires, conçus pour offrir des outils utiles à la mise en œuvre du projet. Elle vise à développer chez les élèves qui s'y engageront des compétences larges telles que l'adaptabilité, l'autonomie, l'esprit d'ouverture ou encore la capacité de co-construire.

Alors, prêtes et prêts à s'engager ?

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

<https://ens-paris-saclay.fr/formations/diplome-ens-paris-saclay/parcours-du-diplome/annee-specifique-de-parcours-engagement>

Titre

Échanges croisés entre diplômé et étudiant, au cœur de la Silicon Valley

Lors de leur voyage immersif à San Francisco, les étudiantes et étudiants, lauréats du Challenge Start-up, un programme de mentorat pour porteurs de projets de start-up, ont échangé avec des alumni de l'Université travaillant sur place. C'est le cas d'Adrien Burlacot, fondateur du Burlacot Lab et expatrié

depuis 2021 aux États-Unis, et de Quentin Barreau, alors étudiant et désormais jeune diplômé de l'Université. Ils reviennent aujourd'hui sur leurs parcours de formation respectifs, leurs projets professionnels et leur intérêt commun pour l'innovation en sciences végétales.

Diplômé d'un master 2 en sciences du végétal de l'Université Paris-Saclay, Adrien Burlacot est aujourd'hui assistant-professeur à l'université de Stanford et chercheur au sein de la Carnegie Institution for Science. Il y a lancé le Burlacot Lab, à mi-chemin entre le laboratoire et la start-up, afin de travailler sur la fixation du carbone par les micro-algues et peut-être déboucher sur une réduction du CO₂ dans l'atmosphère. Fraîchement diplômé du Diplôme étudiant entrepreneur (D2E) et du master 2 Innovation in Quality and Plant Production de l'Université, Quentin Barreau a lancé son entreprise COCAGNE et son produit, une jardinière éco-conçue et au design étudié. Cette dernière est autonome grâce à un système d'irrigation automatique lowtech innovant et un terreau riche offrant six mois de nutriments. L'entreprise est récemment entrée en phase de commercialisation.

Tous deux passionnés par les enjeux d'une société plus durable et les solutions utilisant le végétal, Adrien Burlacot et Quentin Barreau s'accordent sur la qualité de la formation suivie à l'Université Paris-Saclay. «C'est une formation qui a changé ma manière de voir la biologie», souligne Adrien. J'ai eu beaucoup de cours dans les différents centres de recherche du sud de Paris spécialisés dans l'étude des plantes : CEA, INRAE, CNRS. » «J'ai eu l'opportunité de remplacer mon stage de fin d'études de master par un stage entrepreneurial pour lancer mon entreprise. Le D2E a ensuite permis une accélération significative de l'entreprise. J'ai trouvé la formation qualitative», énonce Quentin.

Grâce à leur passage commun par l'Université, Adrien et Quentin ont très vite trouvé une connivence naturelle lors de leur rencontre aux États-Unis. Tous deux en gardent un bon souvenir. «J'ai beaucoup apprécié les échanges informels et la rencontre avec les diplômés qui vivent et travaillent à San Francisco et à la Silicon Valley», confirme Quentin. «J'ai été agréablement surpris par cette session de rencontres. C'est une bonne idée, une belle expérience qui permet des interactions enrichissantes. Je suis convaincu de l'importance et de la richesse des échanges entre étudiants et diplômés», conclut Adrien.

<https://www.universite-paris-saclay.fr/adrien-burlacot-et-quentin-barreau-echange-san-francisco-entre-diplome-et-etudiant-de-luniversite-paris-saclay>



Titre

Les écoles d'été à l'Université Paris-Saclay

De multiples projets d'écoles d'été fleurissent à l'Université Paris-Saclay. Leur objectif : apporter à des élèves en immersion une sensibilisation aux sciences et au monde de l'enseignement supérieur.

Les écoles d'été foisonnent au sein de l'Université Paris-Saclay. Les formats divergent mais les objectifs sont similaires : des élèves de collèges et lycées découvrent les disciplines scientifiques et les vastes possibilités qu'offrent la recherche et l'enseignement supérieur.

En 2022, pour la première édition de l'école d'été de l'ENS Paris-Saclay, dix élèves ont été accueillis par quatre doctorantes et doctorants. Après trois jours plongés dans le quotidien de la recherche au sein du Laboratoire de mécanique Paris-Saclay (LMPS – Univ. Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS), les lycéennes et lycéens ont produit des posters intitulés « Raconte-moi la recherche ».

Lutter contre l'autocensure des jeunes

« C'est important de mettre en avant la pratique scientifique plutôt que de faire suivre aux élèves des conférences, des table-rondes, etc. », commente Olivier Kahn, directeur de la Diagonale Paris-Saclay. Dans le cadre du label *Science avec et pour la société* (SAPS), la Diagonale coorganise également des écoles d'été STIM (science, technologie, ingénierie, mathématiques) avec un comité réunissant personnels,

chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay. L'école, qui dure une semaine, est constituée de groupes de 25 élèves issus de classes de quatrième ou de seconde, des années charnières précédant des choix importants dans l'orientation scolaire et durant lesquelles le début d'été est libre de tout examen.

Le projet, un temps réservé aux filles tant leur nombre est faible dans les classes scientifiques (en terminale, le nombre de filles suivant au moins six heures hebdomadaires de mathématiques a chuté de plus de 60 % depuis la réforme du lycée de 2019), a pour but de lutter contre l'autocensure. « L'objectif est notamment d'initier et de sensibiliser les élèves aux disciplines scientifiques avant les choix d'options qui se présentent à elles et eux au lycée », explique Olivier Kahn. De multiples rencontres avec des chercheuses, des techniciennes de laboratoire et des doctorantes, des manipulations en laboratoires et visites de plateformes (comme, l'an passé, le jardin botanique ou l'Institut d'astrophysique spatiale) et de nombreux autres ateliers rythment cette école d'été.

Avec la troisième édition de son *Summer camp*, CentraleSupélec compte de son côté accueillir des lycéennes et lycéens de la France entière à l'été 2023. Au programme : séminaires et conférences, ateliers, visites de laboratoires et de Fab Lab pour découvrir les sciences et l'ensemble de leurs applications.

<http://www.sciencesociete.universite-paris-saclay.fr/participer/lyceennes-une-ecole-dete-pour-decouvrir-les-sciences/>

Titre

Des plantes et des hommes : des élèves à la découverte des laboratoires de biologie végétale



© Sciences des Plantes de Saclay

De novembre 2022 à juin 2023, les laboratoires du réseau Sciences des Plantes de Saclay (SPS) s'ouvrent à des groupes scolaires de la région Île-de-France. Pour sa deuxième édition, l'initiative « Des Plantes et des Hommes » prévoit, au cours de demi-journées, diverses activités conçues pour des élèves de troisième jusqu'en terminale. Un atelier ludique et interactif comprenant quizz, jeux de cartes et débat, porte sur la domestication, la sélection végétale et aborde des questions sociétales. Chaque classe visite également un laboratoire et discute avec des acteurs de la recherche de leurs travaux, de la pluralité de leurs métiers et de la démarche scientifique. « Notre objectif est d'impliquer toutes les personnes participant à la science, afin de montrer la diversité des profils et des sujets traités », s'enthousiasme Pierre Hilson, instigateur de l'initiative. Cette année, 1 500 élèves sont attendus à l'évènement.

<https://www6.inrae.fr/saclay-plant-sciences/Plantes-et-Societe/Des-Plantes-et-des-Hommes>

Titre

Une comparaison des activités sciences-société à l'échelle internationale

Dans le cadre de la labellisation *Sciences avec et pour la société* (SAPS) accordée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, l'Université Paris-Saclay et Sorbonne Université ont conjointement fait appel au cabinet de conseil SIRIS afin d'établir un état des lieux et une analyse comparée des meilleures pratiques sciences & société internationales. En accord avec le souhait du ministère, le but est de proposer une preuve de concept qui puisse être déployée au sein de l'établissement et, le cas échéant, à d'autres universités.

Cette étude a porté sur quatre universités européennes partenaires de l'Université Paris-Saclay et de Sorbonne Université : Copenhague, Utrecht, Barcelone et Hambourg. Trois établissements extérieurs à l'Union européenne, réputés pour leur recherche et dont la taille et l'écosystème sont comparables à ceux des deux universités françaises, font aussi partie de l'étude : King's College London, l'Université Mc Gill (Montréal) et l'Université de Tokyo. Trois universités francophones ont complété le panel : l'Université du Québec à Montréal,

l'Université de Genève et l'Université catholique de Louvain.

Alimentée par de nombreux exemples, cette étude sera prochainement accessible en ligne. Sa présentation donnera lieu à une journée d'échanges au premier semestre 2023.

Illustrations
page de droite
et page 22 :

Cosmo Danchin-Hamard



COMMENT L'ÉPIGÉNÉTIQUE
NOUS DESSINE

ÉPIGÉNÉTIQUE

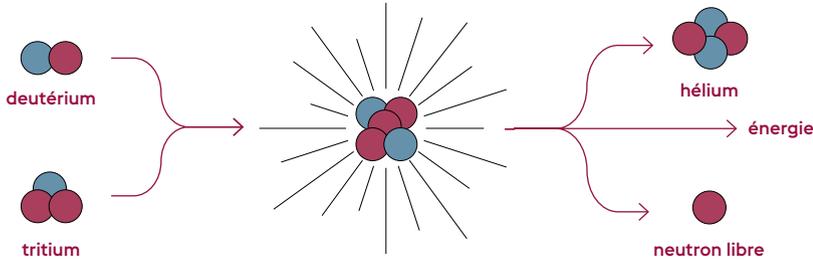
FUSION
NUCLÉAIRE

COSMO

Titre

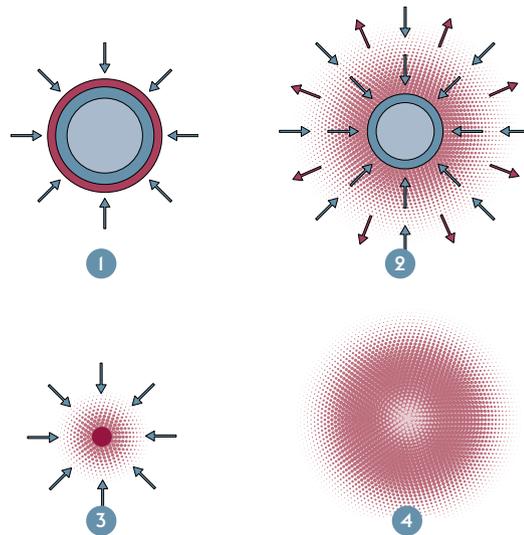
Fusion nucléaire : avancer vers la production d'énergie

PRINCIPE DE LA FUSION NUCLÉAIRE

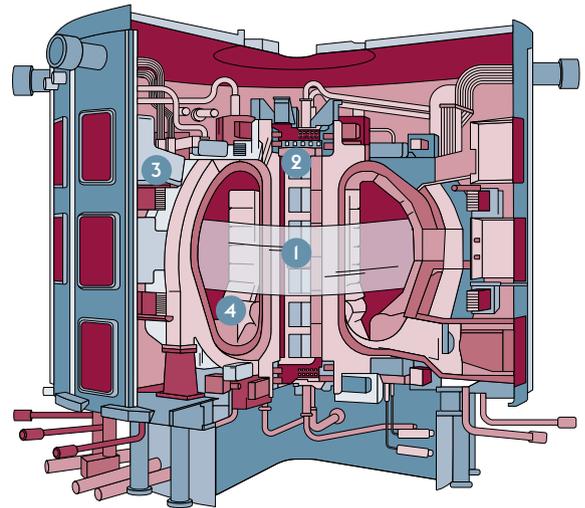


CONFINEMENT INERTIEL PAR LASER

- 1 – Absorption du laser par l'ablateur et génération des chocs
- 2 – Expansion de l'ablateur et compression de la cible
- 3 – Formation du point chaud et allumage du DT
- 4 – Combustion du DT et explosion de la cible



CONFINEMENT MAGNÉTIQUE (TOKAMAK)



- 1 – Plasma confiné
- 2 – Bobine magnétique centrale
- 3 – Bobine magnétique poloidale
- 4 – Divertor

À l'image des étoiles, plusieurs dispositifs expérimentaux sont capables d'amorcer des réactions de fusion nucléaire, sources possibles d'une énergie colossale, bas carbone et sûre, et les prémices pour de futurs réacteurs à fusion. Des recherches dans lesquelles s'impliquent les scientifiques de l'Université.

Amorcée par la pandémie de Covid-19 et exacerbée par la guerre en Ukraine, la crise énergétique actuelle cristallise des vérités longtemps minorées. Elle confirme à quel point il est impérieux de sortir d'une dépendance aux énergies fossiles et combien, en accord avec la lutte contre le réchauffement climatique, la transition vers les énergies bas carbone (renouvelables et nucléaire) est nécessaire.

Dans le même temps, cette crise montre combien les besoins énergétiques mondiaux sont importants et les appels à la sobriété énergétique soulignent à quel point ces besoins sont difficilement compressibles sans efforts et changements profonds. S'affranchir des énergies fossiles au profit des énergies bas carbone n'est pas chose aisée, tant leur part

au sein des mix énergétiques est importante. Et malgré leurs nombreux avantages, aucune de ces énergies n'est, à elle seule, pleinement satisfaisante et en capacité de répondre aux besoins énergétiques des sociétés actuelles. En sorte qu'aujourd'hui, espérer compenser les énergies fossiles par une unique source d'énergie bas carbone, qui soit dans le même temps illimitée, propre, sûre et d'un coût abordable, est peu envisageable.

Fusionner des noyaux pour en tirer de l'énergie

Il en est une qui suscite des espoirs à plus long terme : la fusion nucléaire, soit l'inverse de la fission nucléaire, le processus utilisé par les centrales nucléaires actuellement en activité pour produire de l'énergie à partir de noyaux d'atomes. Semblables à ce qui se passe au cœur des étoiles, les réactions de fusion nucléaire consistent à unir des atomes légers pour former des atomes un peu plus lourds et libérer au passage de l'énergie.

La réaction la plus étudiée et la plus prometteuse pour la production d'énergie est la fusion de deux variants, ou isotopes, de l'hydrogène (le deutérium, D, et le tritium, T) pour donner un atome d'hélium (particule alpha), un neutron

et une grande quantité d'énergie. À masse égale, cette énergie est quatre fois plus élevée que celle obtenue par fission nucléaire, et quatre millions de fois plus importante que celle libérée lors de la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel. Et pour cela, quelques centaines de microgrammes de combustibles suffisent. En outre, ici, aucun emballement de la réaction ne serait possible. Autre avantage : le deutérium est présent à l'état naturel en quantités importantes dans les océans et le tritium, disponible en quantités moindres, est productible à partir de lithium, abondant dans la nature. La fusion nucléaire poserait également moins de problèmes de gestion des déchets.

Des conditions inédites, à reproduire

Un tel procédé n'aurait donc que des avantages. Oui mais... Pour que des noyaux atomiques fusionnent, ils doivent être proches. Cela implique de dépasser leur répulsion électrique mutuelle. Dans une étoile, c'est la température – plus de 10 millions de degrés Celsius - qui lève cette barrière. La matière y est à l'état plasma, différent des états solide, liquide et gaz. Dans un plasma, les électrons (chargés négativement) sont arrachés aux

atomes et n'orbitent plus autour des noyaux qui sont ionisés (chargés positivement). Les pressions extrêmes rencontrées au cœur des étoiles confinent les noyaux dans un espace réduit, ce qui augmente la probabilité de leur collision, et donc leur fusion.

Sur Terre, de telles conditions n'existent pas naturellement et d'autres moyens doivent être mis en œuvre pour les reproduire. Trois conditions sont nécessaires pour espérer faire de la fusion nucléaire une source d'énergie abondante et rentable. Outre le fait de chauffer le combustible jusqu'à atteindre une température dix fois plus élevée que dans les étoiles et provoquer l'agitation et la collision des noyaux du plasma, de confiner ce plasma pour parvenir à une densité suffisante de noyaux et augmenter leur probabilité de collision, il s'agit surtout de maintenir la stabilité du plasma et son confinement suffisamment longtemps pour en extraire de l'énergie. Actuellement, deux méthodes de confinement sont développées : le confinement magnétique et le confinement inertiel par laser.

La fusion par confinement inertiel : l'impact du laser

Le 5 décembre 2022, une grande première a été atteinte par la fusion par confinement inertiel (FCI) : les 192 faisceaux laser ultra-puissants du *National Ignition Facility* (NIF) au *Lawrence Livermore National Laboratory* (États-Unis), pointés sur un cylindre en or contenant une cible de deutérium-tritium renfermée dans une bille (soit un schéma dit d'attaque indirecte), ont réussi à enclencher une réaction de fusion nucléaire qui a délivré 3,15 mégajoules thermonucléaires à partir d'une impulsion laser de 2,1 mégajoules, soit un gain d'énergie de 1,5. « *Ce tir relance l'intérêt pour la production d'énergie par fusion inertielle, même s'il n'y a pas pour le moment de projet de développement d'un réacteur à fusion* », signale Benoît Canaud, du Laboratoire matière sous conditions extrêmes (LMCE – Univ. Paris-Saclay, CEA). Un succès qui ne masque pas non plus les nombreux défis encore à relever pour développer une solution commerciale à base de fusion inertielle : augmenter le rendement et la cadence des lasers, augmenter l'énergie produite par chaque expérience et baisser le coût de fabrication des cibles.

Au LMCE, Benoît Canaud et ses collègues étudient un autre schéma d'attaque laser que celui du NIF : l'attaque directe. « *On éclaire, avec un laser à très haute énergie, une cible (microbille) de DT cryogénique (à une température de 20 K, soit -253,15 °C). On met ainsi la cible en mouvement centripète pour la faire s'effondrer sur elle-même.* » Chauffé par le laser

à plusieurs millions de degrés Celsius (plus de 1 000 eV ou 1 keV), la couche extérieure de la cible (coquille) est vaporisée sous forme de plasma. « *L'ablateur, constitué de plastique, est expulsé à très haute vitesse et en se détendant vers l'extérieur de la coquille, il exprime une poussée vers l'intérieur de la cible, mettant en vitesse la couche cryogénique qui implose progressivement jusqu'au collapse au centre. Alors que la couche cryogénique est de plus en plus comprimée, au centre, le DT sous forme de gaz résiduel voit sa température augmenter jusqu'à une dizaine de keV.* »

La manière dont le laser tape sur la cible est importante. « *En FCI, on génère des chocs plus ou moins forts à l'intérieur de l'ablateur et du DT cryogénique. Or un choc dépose de l'entropie (du désordre) et augmente l'énergie interne du matériau, ce qui le rend beaucoup plus difficile à comprimer.* » Dès lors, tout l'art de la FCI est de faire imploser la cible sans trop mettre d'entropie dans le DT cryogénique à comprimer, pour produire un haut gain thermonucléaire. « *Plus on comprime la cible – on réduit le volume –, plus la densité et le gain de puissance augmentent.* »

La fusion par confinement magnétique : le dispositif tokamak

Alors que la fusion par confinement inertiel agit sur des temps très courts – la centaine de picosecondes (0,1 ns) – pour confiner de manière inertielle la matière fusible à de très hautes densités, la fusion par confinement magnétique joue sur des temps longs et une densité de particules relativement faible. Les tokamaks ou les stellarators sont actuellement les systèmes les plus avancés pour de futurs réacteurs. Ces chambres toroïdales ou annulaires sont équipées d'un système de chauffage du combustible et de bobines magnétiques dans lesquelles passe un courant électrique. Comme toute particule chargée placée dans un champ magnétique s'enroule autour des lignes de champ, ions et électrons du plasma sont confinés magnétiquement dans la chambre à l'aide des puissants aimants.

Plusieurs de ces dispositifs expérimentaux affichent quelques records, bien qu'aucun n'ait encore réussi à obtenir un gain net de puissance supérieur à 1, c'est-à-dire à produire plus d'énergie que celle mobilisée pour chauffer le plasma et le confiner. Fin 2003, le tokamak français Tore Supra – renommé WEST pour *Tungsten (W) Environment in Steady-state Tokamak* et localisé au CEA à Cadarache – a entretenu son plasma pendant six minutes et trente secondes. Fin 2021, le tokamak chinois HL-2M l'a fait pendant dix-sept minutes et trente-six secondes. Le tokamak anglais

JET (*Joint European Torus*), porté par le consortium EUROfusion comprenant des instituts de recherche européens et suisses, a atteint un ratio de 0,67 : dès 1997, il a produit 16 mégawatts de puissance de fusion pour une puissance de chauffage totale de 24 mégawatts. En 2021, il a délivré 59 mégajoules d'énergie de fusion pendant cinq secondes.

De l'expérience au démonstrateur industriel : ITER

Chaînon manquant entre ces dispositifs expérimentaux et les futurs démonstrateurs industriels, le réacteur thermonucléaire expérimental international ITER installé à Cadarache est un ambitieux projet associant 35 pays. Il doit démontrer la faisabilité physique de la fusion par confinement magnétique pour produire de l'électricité et la sûreté du dispositif. L'entrée en activité et la production du premier plasma sont prévues pour 2030. ITER produira un plasma deutérium-tritium chauffé à plus de 150 millions de degrés Celsius et auto-entretenu par les réactions de fusion. Le tritium utilisé lors de la réaction sera régénéré au sein de l'enceinte à partir des neutrons libérés lors de la réaction. ITER délivrera durant 400 secondes une puissance thermique de 500 mégawatts à partir d'une puissance injectée de 50 mégawatts, soit un gain de dix. Pour cela, le volume de sa chambre (1 400 m³) et son plasma (840 m³) seront bien plus importants que ceux des tokamaks actuellement en fonctionnement.

Intégrés au consortium EUROfusion, plusieurs laboratoires de l'Université Paris-Saclay contribuent par leurs recherches à ITER. Le Laboratoire de physique des plasmas (LPP – Univ. Paris-Saclay, CNRS, École polytechnique, Observatoire de Paris, Sorbonne Univ.), dont le savoir-faire réside dans les diagnostics de fluctuation et de turbulence des plasmas, en fait partie.

Quand la turbulence s'invite au plasma

« *Un plasma extrêmement chaud et magnétisé est chaotique et complexe. On y trouve une zoologie d'instabilités dues aux gradients de température, densité, vitesse moyenne, courant, champ magnétique...* », explique Pierre Morel, de l'équipe Plasmas de fusion magnétique du LPP. *La température au centre du plasma est ainsi à plusieurs centaines de millions de degrés Celsius, alors que quelques mètres plus loin, les aimants supraconducteurs sont baignés dans l'hélium liquide, proche des 0 K (-273,15 °C). Le champ magnétique n'est pas homogène non plus : il est plus intense à l'intérieur de l'anneau qu'à l'extérieur. Tout cela est source d'instabilités, qui croissent exponentiellement et coexistent à des échelles variées dans le plasma.* »



Comme elles ne croissent pas indéfiniment, ces instabilités saturent et mènent à la turbulence, caractérisée par des tourbillons qui cascaded et se fracturent en de plus petits tourbillons jusqu'à se dissiper. Ces tourbillons peuvent aussi coalescer et former des structures plus grandes. Comme la turbulence est majoritairement perpendiculaire au champ magnétique, ces structures finissent par brasser les particules chaudes du centre du plasma avec celles plus excentrées et plus froides. D'autres phénomènes ont, au contraire, un effet bénéfique sur la turbulence, comme les écoulements zonaux qui cisailent les tourbillons. « On étudie comment se forment les structures qui prédominent dans le mélange, quel est leur comportement, leur taille et leur temps de vie. On cherche à conserver une forte chaleur et une densité élevée de particules au centre du plasma magnétisé pour maintenir le confinement du plasma le plus longtemps possible », explique Pierre Morel.

Car à cause du brassage, la qualité du confinement de l'énergie et des particules se dégrade. « Le temps de confinement du plasma – le temps moyen pendant lequel l'énergie reste à l'intérieur du système – est fixé par la turbulence. En multipliant les couches de lignes magnétiques, on parvient à l'augmenter. Moins de puissance extérieure est alors nécessaire pour maintenir la réaction. C'est pourquoi on développe une machine de grande taille comme ITER », déclare Pascale Hennequin, responsable de l'équipe Plasmas de fusion magnétique du LPP.

Diagnostiques et simulations numériques : paver la route pour ITER

L'équipe développe des diagnostics qu'elle implante dans différents tokamaks, tels que WEST, ASDEX Upgrade en Allemagne et TCV (Tokamak à confinement variable) à Lausanne (Suisse), et qui mesurent le taux de turbulence du plasma. Le but est de comparer les différentes machines et leurs paramètres. « Il s'agit de valider les nouveaux régimes de fonctionnement afin de fiabiliser les prédictions d'ITER et les futurs réacteurs », déclare Pascale Hennequin. Toutes les observations se font par des mesures indirectes. « On réalise des sondages à différents endroits du plasma grâce à la diffusion d'ondes électromagnétiques micrométriques. Un peu comme un radar. On mesure la vitesse de fluctuation de la densité des particules à différentes échelles. Cette vitesse joue un rôle très important dans tous les processus de saturation et de régulation de la turbulence. »

L'équipe confronte ces observations à ses simulations numériques modélisant la turbulence, l'apparition et les caractéristiques des instabilités. « On fait appel à une description

cinétique : on modélise la façon dont les particules se distribuent en vitesse et en position au sein du plasma. Notre but est d'arriver à faire des simulations représentant de façon fidèle et réaliste ce qu'on voit avec nos expériences et diagnostics. » En extrapolant ces résultats, les scientifiques cherchent à avoir des simulations fiables avant d'opérer le tokamak d'ITER et à prédire son temps de confinement.

Bien qu'une optimisation des procédés et une compréhension plus fine de la physique restent encore à atteindre, les barrières entourant la production d'énergie par fusion nucléaire se lèvent progressivement et un potentiel avenir industriel se profile. En atteste l'émergence croissante de start-up s'associant à des centres de recherche et des universités pour développer l'activité.

Publications

- Mauro Temporal, Benoit Canaud, and Rafael Ramis. Dependence of Inertial Confinement Fusion capsule performance on fuel reaction rate, *Eur. Phys. J. D* (2021).
- U. Stroth et al. Progress from ASDEX Upgrade experiments in preparing the physics basis of ITER operation and DEMO scenario development. *Nucl. Fusion* 62, 042006, (2022).

Titre

Bulles, défauts et précipités : des matériaux en conditions extrêmes

Au Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité), l'équipe d'Aurélien Gentils s'attache à comprendre l'effet couplé des flux de neutrons et de l'accumulation de gaz sur les propriétés des matériaux des futurs réacteurs à fusion.

Dans les futurs réacteurs à fusion, les matériaux seront exposés à de très hautes températures, des flux de neutrons et une accumulation de gaz légers (hélium et hydrogène), produits en quantité non négligeable par la fusion entre le deutérium et le tritium. Tous ces éléments ont un impact sur la microstructure du matériau. Car un matériau solide, cristallin, présente un arrangement d'atomes ordonnés de façon périodique qui, en cas de collision avec les neutrons libérés lors de la réaction de fusion, sont parfois éjectés et laissent une lacune, voire une cavité issue

d'une agglomération de lacunes. Les ions hélium, accumulés dans l'environnement du matériau, s'y insèrent et créent des bulles qui grossissent et fragilisent le matériau.

À IJCLab, au sein du pôle Énergie et environnement, l'équipe d'Aurélien Gentils simule expérimentalement ces dommages à l'aide des faisceaux d'ions de la plateforme JANNuS-SCALP. « Cela a l'avantage de ne pas rendre le matériau radioactif. On peut caractériser l'endommagement in situ et en temps réel. » Un faisceau d'ions lourds énergétiques simule l'endommagement induit par l'irradiation de neutrons. « Les ions lourds traversent le matériau et créent des cascades de déplacements : ils entrent en collision avec les noyaux d'atomes rencontrés et interagissent avec les électrons qui gravitent autour des noyaux. » Grâce à un deuxième faisceau d'ions d'énergie moindre, les scientifiques favorisent l'incorporation d'hélium (ou d'hydrogène) dans le matériau. Ils étudient ensuite l'endroit où les deux dommages sont simultanément présents. « L'irradiation couplée à l'incorporation d'hélium affecte le matériau à une profondeur entre 10 et 100 nm. »

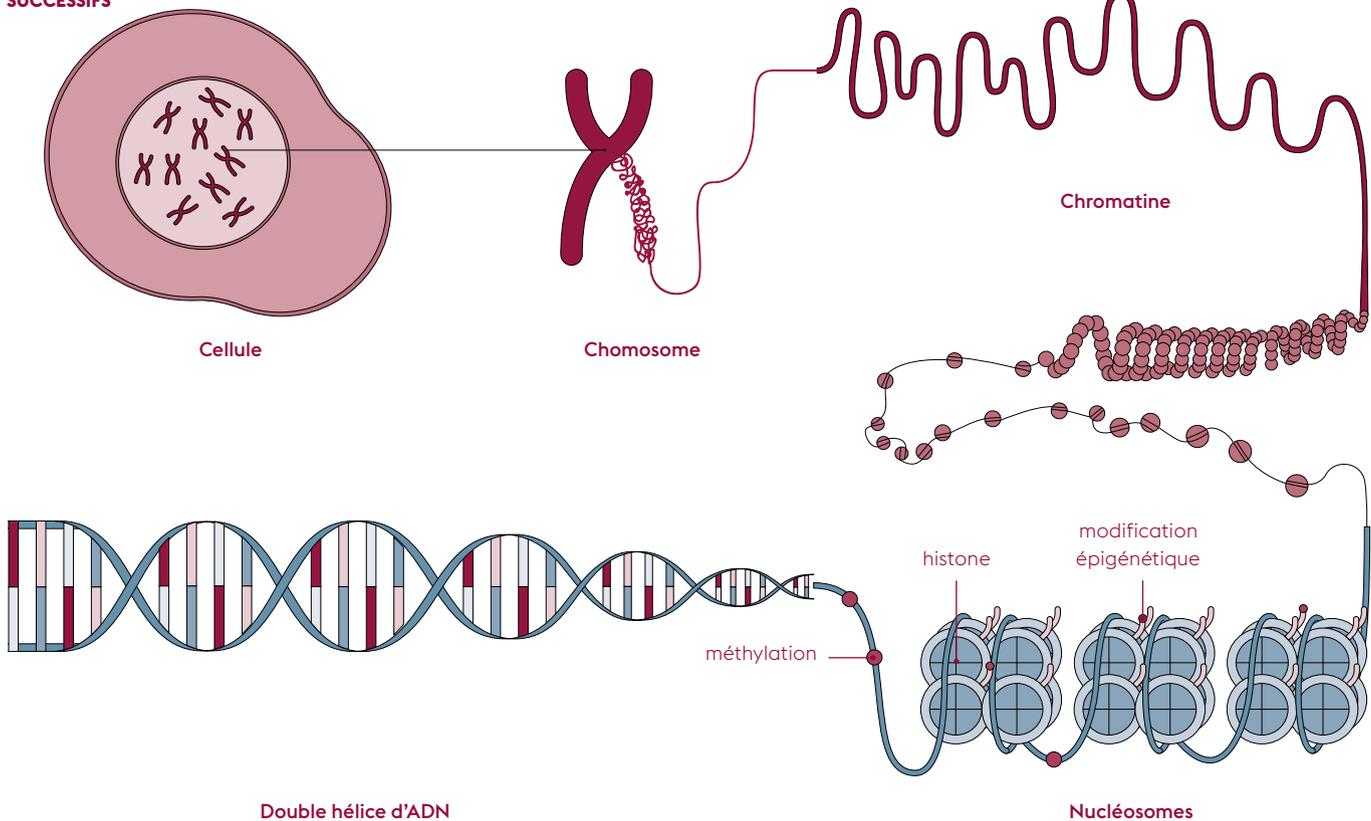
Grâce à la microscopie électronique en transmission (MET), l'équipe mesure la taille et la densité des bulles, et vérifie si d'autres défauts dans l'arrangement des atomes, comme des dislocations et boucles, se sont formés. En parallèle, elle réalise des simulations numériques pour comprendre, par exemple, l'énergie de formation des bulles ou défauts, et la diffusion de l'hélium au niveau atomique. Dans les aciers ferritiques, majoritairement utilisés dans les centrales nucléaires actuelles, des précipités de carbone, présents dès le départ, ralentissent les mouvements de dislocations et confèrent aux aciers de bonnes propriétés mécaniques. Mais à très haute température, ces précipités se dissolvent. L'équipe d'IJCLab s'intéresse aux aciers ODS (*Oxide Dispersion Strengthened*) contenant une dispersion de précipités d'oxydes nanométriques, faits d'yttrium, d'oxygène et de titane, plus résistants à très haute température. « On travaille à caractériser ces matériaux fabriqués conventionnellement ou par faisceaux d'ions, avant et après l'incorporation des éléments, pour comprendre comment et où se forment les nanoprecipités, et quels effets bénéfiques ils ont sur les dommages induits par l'irradiation et l'accumulation de gaz. » D'autres expérimentations sont également faites sur le tungstène ou le nitrure d'aluminium. « Tout cela permet de dégrossir le choix des matériaux utilisés dans les futurs réacteurs à fusion. »

Publication • O. Emelyanova et al. Bubble-to-void transition promoted by oxide nanoparticles in ODS-EUROFER steel ion implanted to high He content. *Journal of Nuclear Materials*, 545 (2021).

Titre

Les rouages méconnus qui contrôlent nos gènes

DE L'ADN AU CHROMOSOME : LES ENROULEMENTS SUCCESSIFS



Quel est le point commun entre la recherche de nouvelles thérapies contre le cancer, le mûrissement des tomates et la prédiction de la fertilité du sperme chez le taureau ? L'épigénétique, soit l'étude des mécanismes qui régulent l'expression des gènes sans modifier la séquence d'ADN. Car ce n'est pas toujours la séquence qui compte, mais la manière de s'en servir qui importe.

Blotti au cœur du noyau des cellules, l'ADN (ou acide désoxyribonucléique) contient toute l'information génétique (ou génome) d'un individu. Cette molécule s'organise en unités fonctionnelles, les gènes, qui à la manière d'un livre de cuisine rempli de recettes, déterminent les caractéristiques de l'individu ou de l'espèce. Telle une brigade de cuisine en perpétuelle activité, une multitude de molécules s'affaire dans le noyau et le cytoplasme des cellules. Certaines sont capables de reconnaître les régions de l'ADN contenant les gènes et de lancer la fabrication des acides ribonucléiques messagers (ARNm) et leur exportation vers le cytoplasme, d'autres de traduire ces ARNm

en protéines, elles-mêmes impliquées dans les fonctions cellulaires et la vie de l'individu. Mais parmi toutes les recettes disponibles dans le « livre » ADN, chaque type cellulaire choisit quels plats il concocte et en quelle quantité. Qu'est-ce qui détermine finalement ce « menu » ?

Le principal élément de réponse vient de la compaction de l'ADN. En effet, pour faire « entrer » la molécule dans le noyau d'une cellule, plusieurs niveaux de compaction sont nécessaires. L'ADN s'enroule d'abord autour de protéines, les histones, pour former des nucléosomes, unités de base de la chromatine. Hormis lors de la division cellulaire, où elle se présente sous la forme de chromosomes, la chromatine s'apparente davantage à une bobine de fil plus ou moins condensée. Les mécanismes moléculaires épigénétiques régissent le niveau de condensation ou de décondensation de la chromatine. Il s'agit de modifications chimiques, apposées directement sur les histones ou la molécule d'ADN. Ces modifications influencent l'expression des gènes, sans changer la séquence d'ADN. Certaines régions très condensées sont ainsi empaquetées en bobines si serrées qu'elles sont illisibles, comme si les pages du livre étaient collées entre elles. Pour en rendre

la lecture possible, il faut décondenser la chromatine. En conséquence, la liste des pages accessibles est différente d'un type cellulaire à l'autre et change au cours du temps.

Dès lors, à la manière de critiques culinaires, les chercheurs et chercheuses en épigénétique de l'Université Paris-Saclay s'intéressent au choix et à l'exécution des plats concoctés par les cellules : ils et elles étudient plus particulièrement la régulation des modifications épigénétiques.

La méthylation comme pronostic du cancer

Une des modifications étudiées concerne la méthylation de l'ADN. Il s'agit de l'ajout d'un groupe méthyle ($-CH_3$), c'est-à-dire un atome de carbone lié à trois atomes d'hydrogène, sur des cytosines – des bases nucléiques qui sont une des briques élémentaires de l'ADN. Les cytosines concernées se situent dans un environnement particulier de séquence d'ADN. Cette modification empêche en général l'expression des gènes situés à proximité.

Dans des travaux pionniers, les scientifiques du Laboratoire épigénétique et environnement (LEE) au Centre national de recherche en génomique humaine (CNRGH – Univ. Paris-Saclay,

CEA) se sont intéressés à ce mode de régulation. L'équipe de Jörg Tost a notamment découvert qu'un différentiel de méthylation de l'ADN aide à établir un pronostic en cas de cancer du sein. À partir de biopsies des tumeurs, elle a suivi le profil épigénétique des cellules tumorales de patientes et patients au cours de la chimiothérapie. L'équipe a constaté que les personnes ayant bien répondu au traitement et survécu plusieurs années sont celles dont le profil de méthylation de l'ADN de ces cellules a été modifié lors de la chimiothérapie. Tout l'enjeu est désormais de réussir à utiliser la méthylation comme marqueur de prédiction précoce de la survie à long terme, et ce, dès la fin du traitement médicamenteux.

Établir un bilan épigénétique complet

Jörg Tost et son équipe s'intéressent également aux maladies inflammatoires. « Ces recherches ont énormément de potentiel, car les symptômes observés pour les maladies inflammatoires peuvent être presque tous liés à l'épigénétique », déclare le chercheur. Nous souhaitons, à partir d'une simple prise de sang, mettre en lumière quelles sont les marques épigénétiques révélatrices de l'état inflammatoire. » Pour l'instant, la technique n'en est qu'aux premiers stades de la recherche.

« Depuis quelques années, nous n'examinons plus seulement la méthylation de l'ADN, notre approche est plus complète. » Accessibilité de la chromatine, modification des histones, transcriptome codant et non codant, petits ARN : l'équipe scrute tous les niveaux de l'épigénétique pour comprendre quels changements moléculaires ont réellement un impact sur le fonctionnement du génome de l'individu. Le LEE combine désormais ses expertises en cancérologie et en maladie immunitaire, et mène des études en immuno-oncologie. L'objectif est de prédire les chances de succès d'une immunothérapie avant même de l'avoir commencée. « Cela sera un sujet d'étude majeur dans les prochaines années. L'épigénétique détient les clés de la médecine personnalisée du futur », promet Jörg Tost.

L'épigénétique : une trace écrite du vécu

Un autre axe d'étude concerne les effets de l'environnement sur les modifications épigénétiques. Le tabagisme, l'exposition à différents polluants ou la qualité de l'air peuvent par exemple modifier l'état épigénétique d'une cellule. « L'épigénome, l'ensemble des modifications épigénétiques, représente la mémoire de notre exposition. Grâce à lui, si votre mère habitait dans une exploitation agricole pendant sa grossesse et votre petite enfance, vous

êtes beaucoup moins susceptible de développer des allergies ou de l'asthme », annonce Jörg Tost. Les bactéries bénéfiques résidant dans les étables de grands animaux sont à la base de cette protection : c'est l'épigénétique de l'immunité acquise.

« Tout ce qui se passe pendant la gestation peut avoir des conséquences à long terme », commentent Héléne Jammes et Anne Gabory, du laboratoire Biologie de la reproduction, environnement, épigénétique et développement (BREED – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, INRAE, ENVA). L'équipe étudie le lien entre une modification de l'environnement maternel au cours de la gestation et les conséquences sur le développement de l'embryon puis du fœtus et le devenir de l'individu en post-natal. Elle scrute notamment les mécanismes épigénétiques sous-jacents. « Il est important d'identifier les effets épigénétiques sur la descendance de tous les événements survenant pendant la grossesse », précise Anne Gabory. Cela a un intérêt pour la prévention en médecine humaine mais aussi pour l'élevage. » Chez la souris, le contexte métabolique maternel influence ainsi le développement foeto-placentaire et prédispose à des réponses altérées. Lorsqu'une souris en surpoids donne naissance à des souriceaux, ceux-ci ont plus de risques de prendre du poids dans le cas d'un régime obésogène. Par ses travaux, l'équipe cherche à prédire, en analysant les marques épigénétiques présentes dans le sang des souriceaux d'une portée, lesquels seront en surpoids.

Pour autant, le profil épigénétique des parents se transmet-il à leurs enfants et petits-enfants, voire au-delà ? Si la transmission épigénétique sur plusieurs générations est prouvée chez les végétaux, le consensus scientifique n'est pas encore établi pour les animaux. Après la fécondation, la quasi-totalité des marques épigénétiques portées par les patrimoines génétiques paternel (provenant du spermatozoïde) et maternel (provenant de l'ovocyte) est remise à zéro. De nouvelles marques sont apposées lors du développement de l'embryon, ce qui semble, au premier abord, indiquer une absence de transmission épigénétique entre parents et enfants. Cependant, certains résultats expérimentaux démontrent que la vague d'effacement n'est pas complète. Héléne Jammes précise : « Nous préférons parler de transmission épigénétique intergénérationnelle, en parallèle à l'hérédité génétique. Il s'agit d'informations stockées au niveau du noyau cellulaire au cours de la gestation qui modifient la façon dont les cellules répondent à leur environnement. C'est ainsi que les souriceaux que nous étudions ont plus de risques de devenir obèses mais ne naissent pas en surpoids. »

Fertilité masculine : des taureaux et des hommes

Au sein de BREED, les scientifiques travaillent également sur la fertilité des ruminants. « Il peut paraître étonnant pour une même équipe de travailler sur différents modèles, mais nos questions biologiques et nos objectifs restent les mêmes : identifier les mécanismes épigénétiques qui contribuent à la mise en place des caractères et s'en servir comme outils de diagnostic et de pronostic », développe Héléne Jammes. Certains travaux récents rapportent une implication de l'information épigénétique transmise par le spermatozoïde du père au moment de la fécondation, sur le développement embryonnaire. Les taureaux, caractérisés génétiquement et sélectionnés selon des critères visant à améliorer la qualité de la viande ou du lait de la descendance, sont utilisés pour féconder de nombreuses vaches par insémination et obtenir une large descendance. Il devient possible d'évaluer la fertilité de ces individus avec précision.

Les scientifiques du laboratoire ont ainsi identifié quelques centaines de cytosines dont le taux de méthylation varie en lien avec la fertilité des taureaux. Les altérations de la méthylation ciblent des gènes impliqués dans la physiologie du sperme et le développement embryonnaire. « L'épigénétique n'est pas un tsunami, mais s'apparente plutôt à de la dentelle », nuance Héléne Jammes. En combinant données épigénétiques et intelligence artificielle, les scientifiques ont produit un modèle mathématique capable de prédire la fertilité du taureau à plus de 70 %. Ces travaux aident en outre à mieux comprendre l'infertilité masculine humaine. Le modèle bovin est également exploité dans le cadre du projet européen RUMIGEN, afin d'explorer les relations entre transmission d'informations épigénétiques par voie paternelle et performances de la descendance.

La diversité épigénétique au cœur de l'élevage

Le projet GeroNIMO (*Genome and epigenome enabled breeding in monogastrics*), co-coordonné par Tatiana Zerjal, de l'unité Génétique animale et biologie intégrative (GABI – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech) et Frédérique Pitel, cherche également à comprendre à quel point l'animal garde en mémoire les changements environnementaux. « Nous cherchons à savoir si l'exposition à un stress ou à d'autres influences de l'environnement laissent des traces dans les méthylation de l'ADN. Nous étudions la possibilité d'une transmission sur plusieurs générations, en analysant comment les changements de l'environnement parental modifient la progéniture à plusieurs générations de distance. » Le modèle



d'étude choisi est inédit : il s'agit des poules et leurs œufs. Par ailleurs, identifier le lien entre des marques épigénétiques et des caractéristiques agricoles intéressantes est également au cœur du projet. Il propose notamment d'analyser l'ADN et les marques épigénétiques sur quinze générations de porcs. Il s'agit pour les éleveurs de sélectionner, de manière classique, leurs animaux sur critères agronomiques, et pour les scientifiques de suivre leur épigénome au fil des générations.

« Nous combinons deux techniques, le GBS (Genotype-by-sequencing) et le MeDIP (Methylated-DNA-immunoprecipitation), afin de scruter la génétique et l'épigénétique des animaux. Nous analysons des milliers d'animaux, ce qui permet de faire de l'épigénétique des populations, aussi bien de porcs, de poules pondeuses que de cailles. Notre projet est centré sur les conséquences appliquées », annonce Tatiana Zerjal. L'épigénétique est ici utilisée à des fins de comparaison entre élevage en plein air et élevage en bâtiment, entre climat tempéré ou tropical, ou entre différentes races de porcs et de poules. Même si diversités épigénétique et génétique semblent liées, tout un pan de la variabilité épigénétique n'est pas encore expliqué. Le but de GÉRONIMO est de développer de nouvelles stratégies de sélection et de conservation de cette diversité épigénétique, afin d'adapter l'élevage aux changements globaux.

Libérer les transposons de la tomate

Chez les plantes, les scientifiques fabriquent des lignées à l'épigénome altéré pour comprendre également comment la mémoire épigénétique est transmise entre les générations. Elles et ils utilisent pour cela l'outil d'édition du génome CRISPR-Cas9 ou « ciseaux moléculaires ». Cet outil de biologie moléculaire permet de couper l'ADN à un endroit précis, au niveau de séquences spécifiques (CRISPR), grâce à une protéine particulière (Cas9).

« Nous nous intéressons à l'aspect fonctionnel de l'épigénétique et avons besoin de ces outils génétiques associés à la bio-informatique pour traiter nos grandes quantités de données. En visant par exemple les gènes *MET1*, *DML2* ou *DDM1* de la plante, qui contrôlent la méthylation de l'ADN, nous empêchons la régulation via ce mécanisme épigénétique », explique Nicolas Bouché, chercheur à l'Institut Jean-Pierre Bourgin (IJPB – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech). Son équipe s'intéresse à l'organisme modèle *Arabidopsis thaliana*, l'arabette des dames, une plante peu connue du grand public mais très utilisée par les scientifiques en raison de son génome simple et facile à étudier. Le chercheur a toutefois élargi son champ de recherche à

une plante cultivée : la tomate. « L'épigénétique y a une importance toute particulière. Si l'on empêche la déméthylation d'un plant de tomates, les fruits n'arriveront pas à maturité. »

Le chercheur explique : « L'épigénome des plantes cultivées est complexe. L'une des principales différences entre l'arabette et la tomate repose sur la quantité de transposons présents dans leur génome. Ce sont des portions d'ADN qui peuvent se déplacer dans le génome et le modifier en s'insérant dans des gènes. Leur mobilité doit donc être très contrôlée. Ils représentent 20 % du génome chez *A. thaliana*, mais 70 % chez la tomate. Cette grande quantité de transposons est d'ailleurs commune à toutes les espèces cultivées. » Pour l'heure, le rôle des transposons n'est pas totalement élucidé. En général réprimés par des méthylation de l'ADN, ils restent silencieux et inactifs. Dans les serres de l'IJPB, les plantes modifiées par CRISPR-Cas9 pour diminuer leur taux de méthylation ne contrôlent plus leurs transposons, ce qui provoque des perturbations radicales de la régulation des gènes. Les changements observés suite à ces perturbations servent à associer des régions épigénétiques à un caractère agronomique donné, tel que la croissance ou le temps de floraison. L'équipe s'intéresse notamment aux facteurs épigénétiques qui contrôlent la croissance de la plante en période de sécheresse. Un enjeu majeur dans un contexte de réchauffement climatique.

Épi-génétique du blé

En matière de changement climatique, il ne fait aucun doute que celui-ci aura un impact fort sur les cultures, en particulier de blé, très sensible à la chaleur. Dans le cadre du projet 3DWheat, lauréat d'une bourse ERC Consolidator 2022, l'équipe de Moussa Benhamed, de l'Institut des sciences des plantes de Paris-Saclay (IPS2 – Univ. Paris-Saclay, CNRS, INRAE, Univ. d'Évry, Univ. Paris Cité), explore la réponse épigénétique de cette céréale à de fortes températures. Lorsqu'il fait trop chaud, l'organisme est en stress, ce qui modifie sa physiologie. Ce changement pourrait être médié par des mécanismes épigénétiques.

L'équipe de Moussa Benhamed s'intéresse plus particulièrement aux modifications épigénétiques des histones. Par exemple, si une des histones porte une marque de répression, telle qu'une méthylation de la lysine 9 de l'histone H3, elle compacte l'ADN voisin en une bobine serrée. Au contraire, si l'histone porte une marque d'activation, comme l'acétylation de la lysine 14 de l'histone H3, elle laisse l'ADN autour d'elle lâche, ce qui permet l'expression des gènes. Des séquences d'ADN proches sont ainsi co-régulées et les gènes s'expriment en même

temps. Parfois, une histone est doublement marquée. Les gènes situés à cet endroit sont dits bivalents et souvent impliqués dans la réponse au stress. L'équipe de Moussa Benhamed souhaite élucider les mécanismes moléculaires à l'œuvre. « Quel est l'impact de cette bivalence ? La réponse des gènes face au stress est-elle plus rapide ? Cela confère-t-il une mémoire cellulaire ? »

Par ailleurs, comme la bobine d'ADN forme des boucles, cela rapproche spatialement des gènes normalement éloignés dans la séquence génomique. Au microscope, les scientifiques de l'IPS2 y ont observé des agglomérats d'une enzyme, l'ARN polymérase. Ces agglomérats constituent de véritables usines à exprimer les gènes. « Ces usines connectent entre elles plusieurs boucles d'ADN, produisant un phénomène de co-régulation entre des gènes parfois éloignés de plusieurs milliers de nucléotides. Un autre enjeu du projet 3DWheat est d'étudier le rôle de ces usines épigénétiques et leur dynamique lors de la réponse à la chaleur », conclut Moussa Benhamed.

L'épigénétique, domaine en pleine expansion, s'appuie sur l'avancée rapide des technologies pour expliquer des phénomènes encore méconnus il y a quelques années. La recherche y jouera un rôle clé afin de surmonter les défis à venir en matière de santé humaine et d'adaptation des êtres vivants aux changements.

Publications

- Corem, S., et al. Redistribution of CHH methylation and small interfering RNAs across the genome of tomato *ddm1* mutants. *The Plant Cell*, (2018).
- Costes, V. et al. Predicting male fertility from the sperm methylome: application to 120 bulls with hundreds of artificial insemination records. *Clinical epigenetics*, vol. 14, 54, (2022).
- Coustham, V., et al. Epigenetics at the interface between environment and DNA: what importance for breeding practices and selection methods? *Animal – science proceedings*, vol. 13, 5, (2022).
- Fogel, O., et al. Dereglulation of microRNA expression in monocytes and CD4+ T lymphocytes from patients with axial spondyloarthritis. *Arthritis Res. Ther.* 21, 51, (2019).
- Pedersen, C.A., et al. DNA methylation changes in response to neoadjuvant chemotherapy are associated with breast cancer survival. *Breast Cancer Res.* 24, 43 (2022).
- Safi-Stibler, S., Gabory, A., Epigenetics and the Developmental Origins of Health and Disease: Parental environment signalling to the epigenome, critical time windows and sculpting the adult phenotype, *Seminars in Cell & Developmental Biology*, vol. 97, (2020).

Titre

Les plateformes de l'Université Paris-Saclay

L'Université Paris-Saclay bénéficie d'un grand vivier de plateformes, qui représentent autant d'opportunités de collaborations et un fort potentiel d'innovation.

<p>Plus de 300 plateformes</p>	<p>Les thématiques explorées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qualité de vie, santé, aliments • Ingénierie des systèmes complexes et logiciels • Énergie, écologie, environnement • Aéronautique, aérospatial, défense • Mobilité et transport • Chimie, matériaux • Numérique • Innovation sociale, sociétale, solidaire 	<p>Les plateformes en sciences sociales et humanités :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bibliothèque numérique patrimoniale « Yvette » • Design Center • Plateforme COVADO SHS
---	--	--

Les plateformes en sciences & ingénierie :

(Une même plateforme peut se retrouver dans plusieurs typologies)

 6 Astrochimie / Astronomie / Astrophysique	 19 Irradiation
 3 Calculs / Traitement des données	 8 Magnétométrie, supraconductivité
 5 Caractérisation	 38 Matériaux, micro et nanomatériaux
 7 Dynamique ultrarapide / de flux	 13 Matière condensée
 2 Étalonnage / Calibration	 7 Matière d'intérêt biologique
 3 Expériences résolues en temps	 17 Microscopie
 2 Implantation ionique	 6 Modélisation / Simulation
 23 Interaction ions-matière / lumière-matière / laser-matière	 6 Phases liquides, gaz, plasma

 27 Spectroscopie	<p>Exemples de plateformes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accélérateur linéaire et tandem d'Orsay ALTO (physique nucléaire) • Mésocentre Paris-Saclay (informatique) • Plateforme de fabrication additive du LURPA • Plateforme pour les activités de recherche appliquées et de développement en instrumentation sol et espace (PARADISE) • Plateforme de microscopie de l'ICMMO • PANOPLY (plateforme analytique géosciences Paris-Saclay) • Salle blanche du C2N (nanotechnologies) • SOLEIL (physique, chimie, biologie, sciences du patrimoine)
 18 Structure de la matière	
 3 Systèmes électroniques	

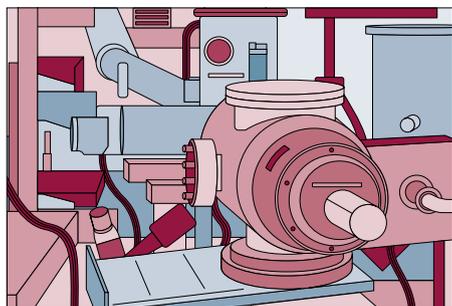
Les plateformes en sciences de la vie :

 26 Analyses physicochimiques	 8 Cytométrie / Histologie
 17 Animalerie et exploration fonctionnelle	 10 Expérimentation végétale / Agronomie
 3 Autres plateformes de sciences de la vie	 17 Exploration préclinique / clinique
 14 Biobanques / Ressources biologiques	 22 Génomique / Post-génomique
 12 Bioinformatique	 24 Imagerie cellulaire
 22 Biologie structurale / Biophysique	 30 Imagerie in vivo
 8 Bioproduction	 4 Procédés alimentaires
 7 Chimie / Criblage	

<p>Exemples de plateformes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plateformes du laboratoire IPSIT (chaîne de développement du médicament) • Plateformes de l'I2BC (biologie de la cellule) • Plateformes du laboratoire ECOSYS (processus biogéochimiques, flux de matière et d'énergie, fonctions des organismes isolés ou en interaction avec leur environnement) • Plateformes de l'IJPB (étude des plantes) • Plateaux techniques de l'Institut Gustave Roussy (centre de ressources biologiques, immunomonitoring, cytométrie et évaluation précliniques et cliniques) 	<ul style="list-style-type: none"> • MetaGenoPolis (science du microbiote appliquée à la nutrition et la santé) • NeuroSpin (imagerie cérébrale et sciences cognitives) • Plateformes des laboratoires IDMIT et MIRcen (recherches précliniques et translationnelles sur les maladies infectieuses humaines et neurodégénératives) • Plateau technique du Service hospitalier Frédéric Joliot (imagerie in vivo multimodale, développement de méthodes et d'agents diagnostiques et thérapeutiques, applications cliniques en neurologie et cancérologie)
--	---



Les plateformes de la Graduate School Physique



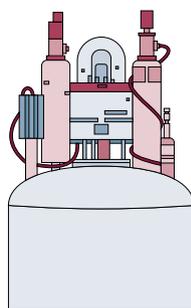
Une importante partie de la physique développée à l'Université Paris-Saclay s'illustre à travers les quelque 115 plateformes de la Graduate School Physique. Cette concentration unique en France permet à la fois de mener des recherches disciplinaires de pointe, de compléter les enseignements universitaires et de faire bénéficier les communautés académique et industrielle d'expertises techniques et expérimentales. Ces plateformes sont ainsi ouvertes à des activités extérieures aux laboratoires où elles sont localisées. Elles couvrent les trois axes de recherche de la Graduate School Physique – physique des deux infinis (P2I), physique ondes-matière (PhOM), astrophysique – et leur polyvalence les ouvre également à des thématiques connexes (chimie, ingénierie, biologie...). Leur variété reflète les spécificités techniques propres aux phénomènes étudiés, liés à des échelles spatiales et temporelles ou d'énergie très variées.

Les plateformes de l'axe P2I interviennent pour la conception, la fabrication et l'exploitation d'accélérateurs de particules et de détecteurs de phénomènes hautement énergétiques, les caractérisations de matériaux, l'analyse et l'exploitation de données. Au sein de l'axe PhOM, les plateformes s'organisent en six pôles : rayonnement synchrotron (SOLEIL), grands lasers, salles blanches, plateformes de microscopie électronique, moyens d'irradiation et petites plateformes de caractérisation. Enfin, les plateformes de l'axe Astrophysique contribuent pour moitié à PARADISE, une plateforme rassemblant l'ensemble des moyens d'intégration, de test et d'étalonnage des laboratoires spatiaux français, pour le développement d'instruments embarqués, de sous-systèmes, de nano-satellites ou d'instruments pour les grands observatoires au sol. De nombreuses plateformes concernent plusieurs axes de la Graduate School Physique et d'autres Graduate Schools, comme la construction et le contrôle de détecteurs, l'étude des matériaux ou l'exploitation des lasers. Pour les prochaines années, la Graduate School Physique s'attachera à trouver

les moyens de préserver et développer ce patrimoine tout en encourageant son ouverture à un plus grand nombre de partenaires, académiques et industriels.

<https://www.universite-paris-saclay.fr/plateformes-de-la-gs-physique>

Les plateformes de la Graduate School Chimie



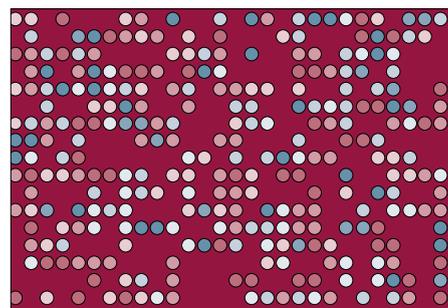
Les laboratoires de la Graduate School Chimie de l'Université Paris-Saclay disposent de nombreuses plateformes expérimentales et centres de calculs afin de développer des activités de recherche qui sont soit de cœur (chimie-physique des actes élémentaires, chimie analytique, élaboration et caractérisation de matériaux et de biomatériaux, conception d'édifices moléculaires de taille variée), soit situées aux interfaces de la physique ou des sciences de la vie. À ce titre, ils possèdent un savoir-faire unique en ce qui concerne l'élaboration, l'étude et l'analyse de tout type d'échantillons (solides, liquides, gazeux, organiques, inorganiques, biologiques...), ainsi que dans le développement méthodologique et instrumental. On dénombre une trentaine de plateformes internes : microscopie électronique en transmission ou à balayage, spectroscopie de photoélectrons, analyse factorielle multiple, résonance magnétique nucléaire, diffraction des rayons X, résonance paramagnétique électronique, chromatographie, spectrométrie de masse, clusters de calculs, magnétométrie, analyse élémentaire, chimiothèque, etc. Ces plateformes contribuent activement à l'offre de formation de la Graduate School Chimie, à la visibilité de l'Université au travers de nombreuses collaborations nationales et internationales, et sont ouvertes aux partenaires industriels.

Dans l'objectif de préserver leur compétitivité, les laboratoires n'ont cessé de faire évoluer leurs plateformes. Le projet CRYOMORPHOSE@RMN_UPSAY doit venir étoffer et moderniser l'équipement en RMN du plateau de Saclay, afin de répondre aux nouvelles attentes spectroscopiques des chimistes. Le projet COCOM couvre les demandes à l'interface

entre biologie et matériaux, et le développement de nouvelles sondes permettant l'imagerie dans le proche infra-rouge (au-delà de 850 nm) grâce à l'acquisition d'un nouveau microscope confocal spectral dédié à l'analyse dans cette gamme de longueurs d'onde.

<https://www.universite-paris-saclay.fr/graduate-schools/graduate-school-chimie/les-plateformes>

Les plateformes de la Graduate School Health and Drug Sciences



Les activités de recherche menées au sein de la Graduate School Health and Drug Sciences de l'Université Paris-Saclay s'appuient sur une vingtaine de plateformes. Celles-ci sont hébergées par la Faculté de pharmacie de l'Université Paris-Saclay, l'Université de Versailles – Saint-Quentin-en-Yvelines et le CEA Paris-Saclay (notamment l'Institut des sciences du vivant Frédéric Joliot). Les approches pluridisciplinaires couvertes s'inscrivent dans un continuum allant de l'échelle moléculaire à celles de la cellule, du tissu et de l'individu. Elles utilisent des essais à haut débit, comme pour les analyses génomiques ou le criblage moléculaire, et se basent sur des techniques innovantes d'analyses (transcriptomiques, protéomiques, lipidomiques et métabolomiques) et d'imagerie (lames virtuelles d'histologie, cytométrie de masse et microscopie à haute définition) de modèles précliniques et cliniques.

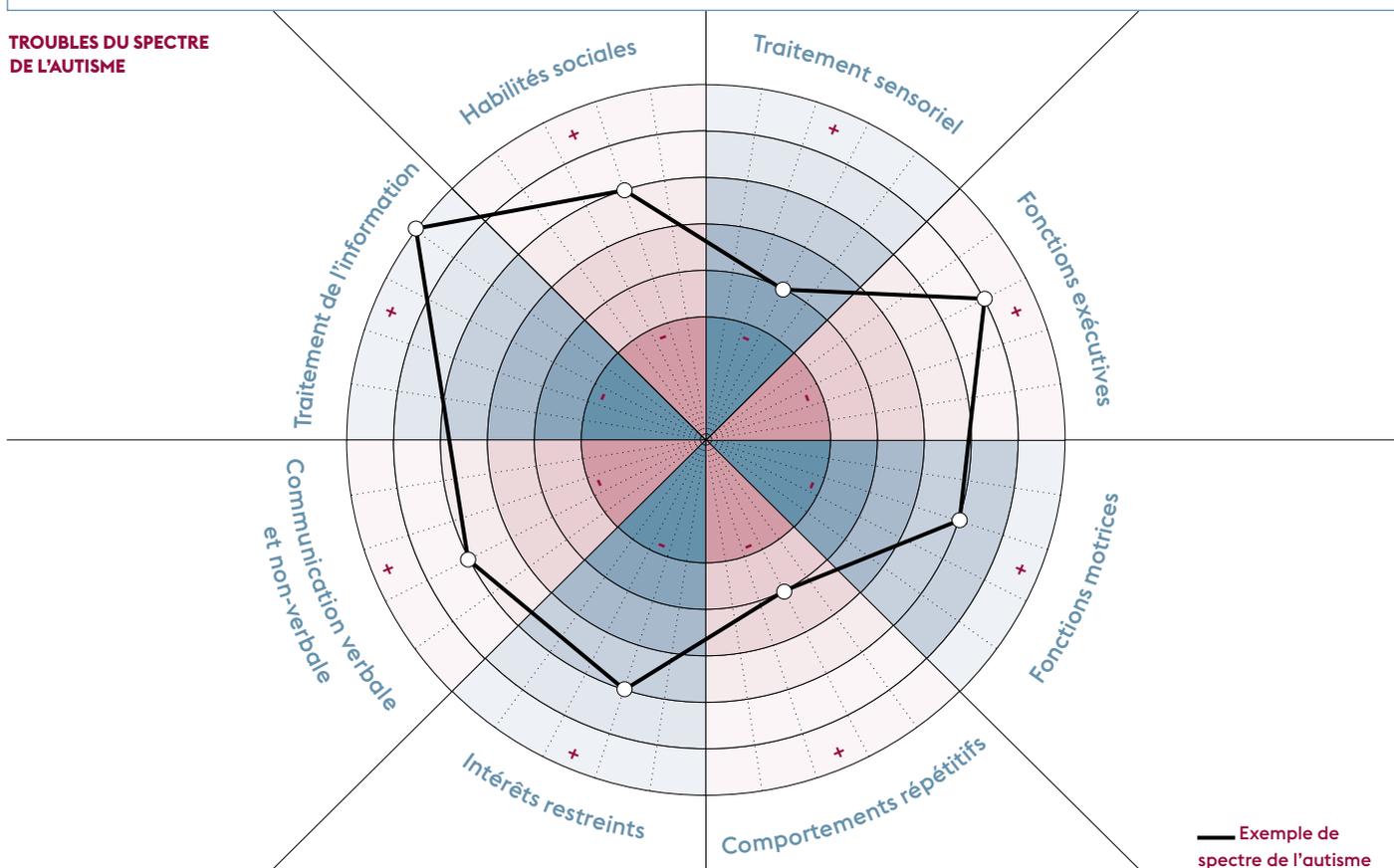
Ces plateformes sont ouvertes aux acteurs académiques et industriels, et facilitent de nombreuses actions de recherche et de formation, en donnant accès à des technologies de pointe. L'unité Ingénierie et plateformes au service de l'innovation thérapeutique (IPSIT – Univ. Paris-Saclay, Inserm, CNRS) regroupe ainsi onze plateformes techniques d'expérimentation animale, de biologie cellulaire, d'imagerie, de biochimie et d'analyses à haut débit, allant du criblage chimique pour la découverte de molécules bioactives, aux analyses omiques pour la découverte de biomarqueurs.

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

Titre

Maîtriser l'hétérogénéité de formes de l'autisme

TRoubles du spectre de l'autisme



Des chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay travaillent à une meilleure compréhension des troubles autistiques et de leurs facteurs d'émergence, ainsi que de leur diagnostic.

L'enfant sauvage (1970), *Rainman* (1988), *Forrest Gump* (1994) ou plus récemment *Hors normes* (2019). L'autisme inspire le cinéma. Pour autant, les personnes atteintes d'autisme se retrouvent-elles dans la description qui y est faite de leur trouble ? Car l'autisme, autour duquel l'imaginaire collectif cristallise certaines représentations, reste aujourd'hui assez mal connu et compris. En effet, ce trouble neurodéveloppemental, qui touche une personne sur 160 dans le monde, recouvre des fonctionnements mentaux particuliers souvent difficiles à caractériser et dont l'origine pose encore question. Il revêt également une multitude de formes et de manifestations. On parle d'ailleurs de troubles du spectre de l'autisme (TSA). Ils se distinguent principalement par des déficits d'interactions sociales et communicationnelles, des comportements répétitifs et des intérêts restreints.

Avec une augmentation, ces dernières décennies, du nombre de cas détectés, la question du diagnostic de l'autisme demeure des plus délicates. Ce diagnostic s'appuie sur un résumé d'informations apportées par les professionnels de santé, après des examens qui sont principalement des entretiens ou des exercices réalisés avec le patient ou la patiente. Mais ces instruments standardisés sont sujet à caution et ne constituent qu'une aide au jugement clinique. Or, l'évolution du trouble étant différente en fonction des personnes, cela complexifie d'autant le diagnostic médical. L'impact que ce diagnostic a sur le patient ou la patiente n'est pas non plus négligeable : sa désignation en tant que personne autiste influe sur sa propre construction psychique et sociale, le patient ou la patiente se positionnant par rapport à son statut.

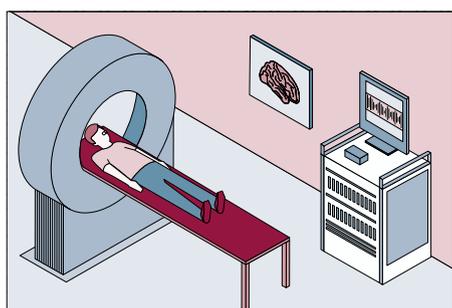
Or, comprendre les causes des traits d'autisme contribue à améliorer l'examen médical, et par conséquent le diagnostic. Dès lors, quelles pistes de recherches faut-il privilégier pour comprendre les facteurs d'émergence, les signes et le diagnostic des TSA ? Des chercheurs et chercheuses de l'Université Paris-Saclay avancent sur ces questions et proposent, elles et eux aussi, un spectre d'approches possibles.

Entre démarches neurodéveloppementales, microbiologie et épidémiologie du développement, leur ambition est de saisir l'aspect multidimensionnel de l'autisme.

Sciences des données et science ouverte à l'épreuve du diagnostic

Et s'il était possible de prédire l'autisme à partir de techniques d'imagerie cérébrale ? Non pas remplacer le diagnostic qui se fait après un jugement clinique, mais le confirmer grâce aux IRM. C'est ce que tente de démontrer une équipe internationale de chercheurs et chercheuses, dont certains sont issus du *Paris-Saclay Center for Data Science* (CDS) et de l'équipe-commune Inria-CEA Parietal, de NeuroSpin (Univ. Paris-Saclay, CEA), à laquelle appartient le physicien et *data scientist* Gaël Varoquaux. Dans une logique de science ouverte, les membres de cette équipe ont organisé dès 2017 un challenge accessible à tous les *data scientists* volontaires et ce, dans le but de développer un prédicteur des TSA. À partir de données ouvertes d'imagerie par résonance magnétique (IRM), le défi a consisté à soumettre des algorithmes, les plus optimaux possibles, afin de prédire le diagnostic de TSA. Durant trois mois, 146 challengers ont proposé leurs algorithmes, avec un total de 720 soumissions.

Pour vérifier la validité de ces algorithmes, les équipes encadrant le challenge les ont testés sur des données IRM privées. Elles ont ainsi obtenu la mesure ROC (*Receiver Operating Characteristic*) de l'algorithme, c'est-à-dire la caractéristique de performance de ce classificateur, ordonnant des éléments en deux groupes, en fonction de leurs caractéristiques. Il s'agit d'une mesure de la qualité des prédictions, qui se matérialise sous la forme d'une courbe : la courbe ROC, qui donne le taux (entre 0 et 1) de vrais positifs (cas positifs effectivement détectés) et celui (également entre 0 et 1) de faux positifs (cas négatifs détectés par erreur) pour le classificateur étudié. C'est grâce à l'aire AUC (*Area Under the Curve*) située sous la courbe ROC que la qualité des prédictions se révèle. «*L'aire sous la courbe (AUC) nous donne une sorte de résumé de toutes les décisions possibles de notre classificateur*», explique Gaël Varoquaux. Lorsque le modèle réussit à totalement séparer les vrais positifs des faux positifs, c'est-à-dire lorsque le taux d'erreur est équivalent à zéro, la performance est parfaite. «*La courbe idéale saute ainsi de 0 à 1 et se stabilise à 1.*»



À l'issue du challenge, les scientifiques ont combiné les dix meilleurs modèles d'algorithmes et produit un bon prédicteur de TSA, dont l'AUC atteint 0,80, soit un bon niveau de discrimination. Les scientifiques ont comparé l'efficacité du test de dépistage à celle du test de diagnostic. Tandis que le premier argue de la présence (ou de l'absence) d'une maladie à l'apparition (ou non) de symptômes, le second estime la probabilité d'existence de cette maladie. Il se positionne donc en amont du développement de la pathologie. Le prédicteur utilisé comme test de dépistage détecte 88 % des personnes atteintes de TSA, mais au prix d'une mauvaise classification de 50 % des témoins. Utilisé comme test de diagnostic, le prédicteur détecte 25 % des personnes atteintes de TSA, mais seulement 3 % des témoins sont à tort classés comme patientes ou patients. Bien que ces résultats soient encore imparfaits et incompatibles avec une application clinique, ils offrent de beaux espoirs pour une prédiction de TSA. Toutefois, les données IRM sont coûteuses et il est difficile d'en disposer pour

une grande population. Les recherches dans cette voie ne sont pas évidentes, ce qui ne décourage pas pour autant Gaël Varoquaux : «*Nous avons montré qu'il y a de la recherche utile pour l'autisme dans cette direction. Une approche intéressante serait maintenant de faire passer un scanner à des enfants âgés de deux ans, d'attendre quelques années que le médecin confirme le diagnostic de TSA, et d'alors effectuer une prédiction longitudinale.*» Les informations fournies par l'IRM réalisée sur l'enfant permettraient de suivre la progression de la maladie dans le temps et de fournir des biomarqueurs précoces utiles, en complément de l'étude des comportements.

Les neurosciences et l'analyse de l'hétérogénéité des TSA

La multiplicité de formes de l'autisme rend complexe son diagnostic et son analyse. Les symptômes majeurs de l'autisme s'accompagnent souvent de différents troubles psychiatriques ou médicaux, ainsi que de facteurs génétiques et immunitaires variés. Cette variabilité du spectre empêche une reproductibilité des biomarqueurs identifiés entre les différentes personnes atteintes de TSA. Des chercheurs et chercheuses du centre NeuroSpin (Univ. Paris-Saclay, CEA) proposent de rassembler par groupes des personnes dont les TSA sont homogènes. Cette séparation en plusieurs groupes vise à comprendre les mécanismes biologiques propres à chacun d'entre eux. Chaque groupe révèle ainsi des différences comportementales associées à des «*signatures corticales*» détectées par IRM.

Car l'autisme ne fournit pas une catégorie de patientes et patients homogène, il s'agit bien d'un spectre à la multitude de symptômes. Pour analyser la maladie, une simple catégorisation binaire entre «*personne atteinte de TSA*» et «*personne non atteinte de TSA*» n'est ici pas applicable. Sinon, des individus aux comportements largement différents seraient assimilés au même groupe. Le travail d'Angeline Mihailov et de l'équipe Baobab de Neurospin a pour but de distinguer des personnes atteintes de TSA en de multiples groupes, ce qui passe notamment par une approche «*dimensionnelle*», prenant en considération le type et le degré des symptômes des patientes et patients.

Cohorte MARIANNE : l'influence des facteurs environnementaux

La question des facteurs à l'origine des TSA soulève aussi un débat. Le facteur génétique est le plus connu et le plus fréquemment observé. Mais l'augmentation, ces trente dernières années, de la prévalence des TSA dans la population mondiale augure de l'existence de

facteurs supplémentaires. Car si l'amélioration des diagnostics et l'élargissement des définitions de l'autisme contribuent à faire augmenter le nombre de patientes et de patients déclarés positifs, ils n'expliquent pas tout. «*Cela explique 50 % de cette augmentation mais déporte le regard des facteurs environnementaux, auxquels nous nous intéressons peu, alors que les modèles de troubles neurodéveloppementaux sont très développés*», explique Amaria Baghdadli, psychiatre, chercheuse au Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, Inserm) et responsable du Centre de ressources sur l'autisme au CHU de Montpellier. Par «*facteurs environnementaux*», la chercheuse entend l'environnement naturel, social, familial, culturel... «*L'environnement est capable de laisser son empreinte sur notre génome, notre ADN. Nous parlons alors d'«empreinte épigénétique».*»

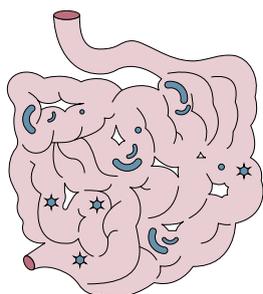
Considérer une multiplicité des facteurs à l'origine de l'autisme appelle une démarche multidimensionnelle. Un projet comme MARIANNE, démarré en novembre 2022, s'y inscrit totalement. Bénéficiant d'un financement de six millions d'euros dans le cadre du Plan d'investissement d'avenir (PIA), ce projet, coordonné par Amaria Baghdadli, a pour objectif de construire une grande infrastructure de recherche en collectant une cohorte de données sur 2 300 familles. L'ambition est d'établir le rôle des facteurs environnementaux et biologiques dans la survenance d'un TSA ou d'un trouble du neurodéveloppement, de façon générale. À la différence de la cohorte précédente, ELENA, portée sur les facteurs de pronostic des TSA auprès d'enfants, MARIANNE est une cohorte prénatale d'enfants dont le risque d'être autistes ou de développer d'autres troubles du neurodéveloppement est important, parce qu'ils ou elles ont un frère ou une sœur autiste.

La cohorte MARIANNE comprend deux groupes, l'un avec des femmes enceintes ayant déjà eu un enfant autiste et où le risque d'avoir un autre enfant atteint de difficultés de développement est plus important, et l'autre où un tel risque est presque nul, proche de celui de la population générale. Le suivi des femmes enceintes, des pères et des enfants du premier groupe se fait pendant six ans. «*L'originalité de notre projet vient d'abord de son approche en santé globale, où nous nous intéressons à la santé et au développement de façon générale, en utilisant un modèle de trouble du développement qu'est l'autisme. L'interdisciplinarité joue ensuite un grand rôle car nous mobilisons des psychiatres, des pédiatres, des gynécologues, des sages-femmes, des généticiens, des épidémiologistes sociaux, environnementaux, du*



développement... Enfin, un tel modèle d'hérédité non uniquement génétique est, à notre avis, à l'œuvre dans beaucoup de maladies chroniques et, pourtant, reste à étudier d'avantage», résume Amaria Baghdadli.

Le projet GEMMA et l'impact du microbiote intestinal



Déterminer quelle influence les facteurs environnementaux ont sur l'émergence de TSA demande parfois d'élargir sa vision de ces troubles. À l'institut Microbiologie de l'alimentation au service de la santé humaine (MICALIS – Univ.Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech), des scientifiques s'intéressent à l'implication du microbiote intestinal dans certains aspects des TSA. Le microbiote intestinal représente l'ensemble des microorganismes (virus, bactéries, parasites...) qui peuplent l'intestin et Léa Roussin, doctorante à MICALIS, l'affirme : «La littérature scientifique nous montre que les enfants autistes possèdent un microbiote particulier. Dans des modèles d'autismes chez la souris, qu'ils soient génétiques, environnementaux ou idiopathiques, beaucoup d'études pointent une perturbation du microbiote intestinal par comparaison avec celui de souris considérées "normales".»

Le projet de recherche européen GEMMA (*Genome, Environment, Microbiome and Metabolome in Autism*), démarré en 2019 pour cinq ans et dans lequel s'inscrit la thèse de Léa Roussin, cherche à approfondir ces analyses. Le projet affiche une ambition clinique, celle de détecter les biomarqueurs prédictifs du développement des TSA. Il comprend également une étude longitudinale qui consiste à observer des familles comportant déjà un enfant atteint de TSA et un second enfant en très bas âge, à suivre chez ce dernier certains paramètres (par le biais d'analyses de sang, d'urine, du système immunitaire...) afin de déterminer ce qui précède l'arrivée de symptômes de TSA chez des enfants qui en seront atteints.

Un autre volet du projet concerne l'analyse de l'influence du microbiote d'enfants autistes sur l'apparition de symptômes de type autistique chez des modèles murins. «Dans le cadre de ma

thèse, je travaille sur des souris axéniques, c'est-à-dire nées sans microbiote intestinal et vivant dans un environnement complètement stérile en isolateur», explique Léa Roussin. Pour ces recherches, la jeune chercheuse transfère à ces souris le microbiote d'enfants humains atteints de TSA. Alors que ces souris présentent déjà un comportement altéré, le but est d'observer si ce microbiote a un impact supplémentaire sur leur comportement. «On observe une inflammation intestinale chez certaines patientes et patients atteints de TSA, ce qui peut se répercuter sur le microbiote et contribuer à déclencher ou aggraver des symptômes», avance, comme hypothèse de travail, Léa Roussin.

Au vu de l'influence qu'entraîne un diagnostic sur la vie d'un enfant voire d'un adulte, les recherches sur les troubles du spectre de l'autisme apparaissent comme essentielles. Cette fresque de l'autisme, trop longtemps en noir et blanc, amorce désormais un passage en couleurs.

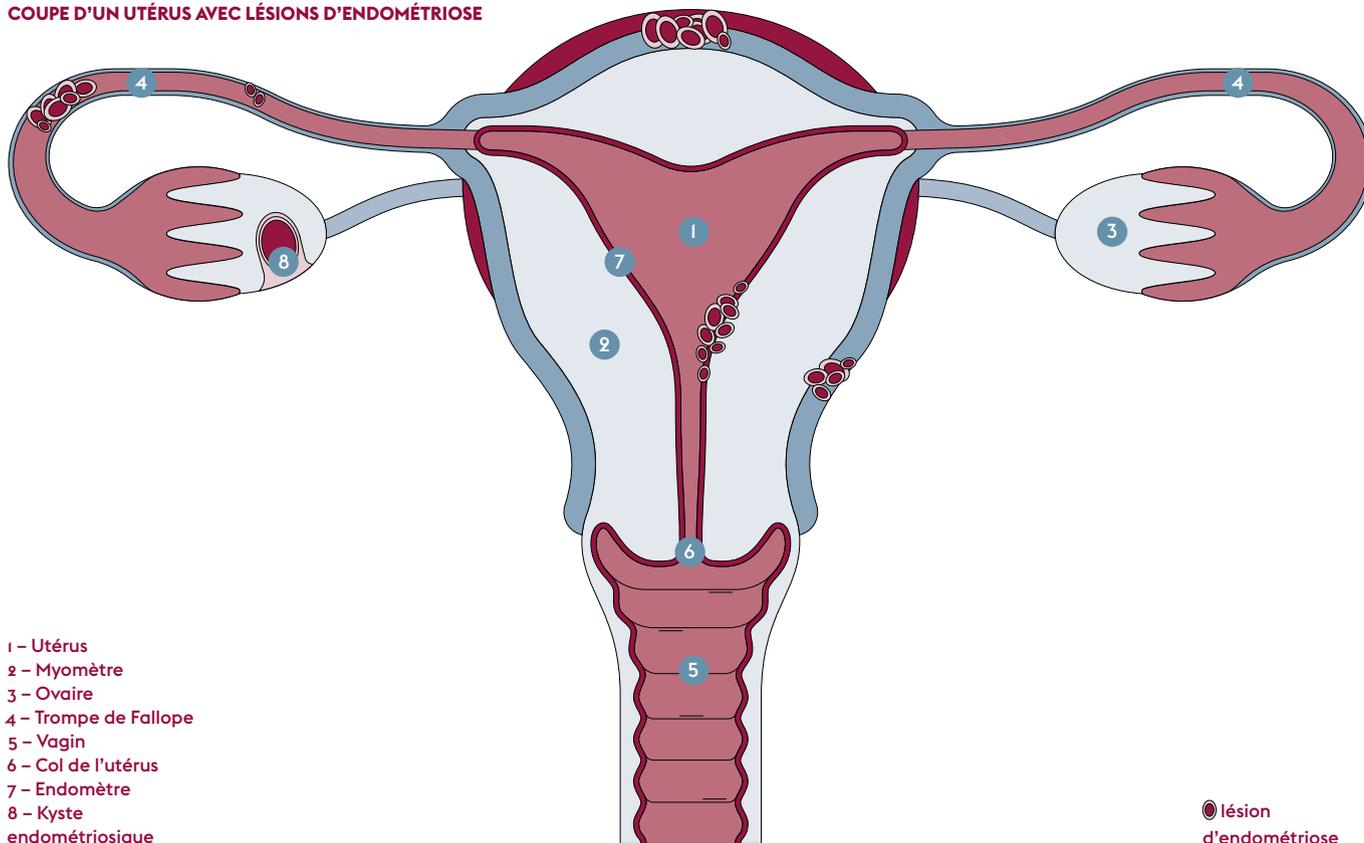
Publications

- Mihailov, A., Philippe, C., Gloaguen, A. et al. Cortical signatures in behaviorally clustered autistic traits subgroups: a population-based study. *Translational psychiatry* 10, 207, (2020).
- Roussin L., Prince N., Perez-Pardo P., Kraneveld AD, Rabot S, Naudon L.. Role of the gut microbiota in the pathophysiology of autism spectrum disorder: clinical and preclinical evidence. *Microorganisms*, vol. 8 (9), (2020).
- N. Traut, G. Varoquaux et al. Insights from an autism imaging biomarker challenge: Promises and threats to biomarker discovery. *NeuroImage*, vol. 255, (2022).
- <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/marianne-une-nouvelle-cohorte-nationale-dediee-la-recherche-dans-le-domaine-de-l-autisme-84173>

Titre

Endométriose : la grande inconnue

COUPE D'UN UTÉRUS AVEC LÉSIONS D'ENDOMÉTRIOSE



- 1 – Utérus
- 2 – Myomètre
- 3 – Ovaire
- 4 – Trompe de Fallope
- 5 – Vagin
- 6 – Col de l'utérus
- 7 – Endomètre
- 8 – Kyste endométriosique

● lésion
d'endométriose

L'endométriose touche environ 200 millions de femmes dans le monde, est décrite depuis l'Antiquité et peut provoquer des douleurs handicapantes au quotidien et une infertilité. Pourtant, cette maladie reste fortement méconnue, tant par les scientifiques que par le grand public. Des chercheurs et chercheuses tentent aujourd'hui de sortir l'endométriose de l'ombre.

Aujourd'hui, on estime que l'endométriose touche une femme sur dix en âge de procréer (des premières règles, la ménarche, jusqu'à la ménopause), soit environ 1,5 millions de femmes en France d'après le ministère de la Santé, et près de 200 millions dans le monde d'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Cette maladie est liée à l'endomètre, la muqueuse recouvrant la paroi interne du corps de l'utérus. L'endométriose se caractérise par la présence extra-utérine de tissus semblables à ceux de l'endomètre. La douleur récurrente et souvent invalidante – qu'elle soit ressentie durant les règles (dysménorrhée), les rapports sexuels (dyspareunie), la défécation (dyschésie),

localisée dans la zone pelvienne ou abdominale – est son principal symptôme. L'infertilité, les troubles digestifs et urinaires en période menstruelle, ou une fatigue chronique peuvent aussi être relevés. S'il faut attendre 1860 pour que le médecin pathologiste autrichien Karel Rokitansky utilise le premier le terme d'endométriose, les symptômes de la maladie sont déjà décrits depuis près de 4 000 ans et notamment à l'époque de l'Égypte antique.

Pourtant, l'endométriose est encore aujourd'hui très peu connue. Un constat contre lequel lutte Marina Kvaskoff, épidémiologiste au sein de l'équipe Exposome, hérédité, cancer et santé du Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, Inserm). La chercheuse est notamment responsable scientifique et présidente du conseil scientifique de l'étude de cohorte ComPaRe-Endométriose de l'Assistance publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP), présidente du conseil scientifique de la Fondation Recherche Endométriose et co-pilote du groupe de travail « recherche » de la stratégie nationale de lutte contre l'endométriose. « On dit que l'endométriose touche une femme sur dix, mais c'est un chiffre très grossier, qu'il est essentiel de préciser. Une partie de mon travail est d'essayer

de mieux comprendre l'hétérogénéité de la maladie, ses différentes formes. Aujourd'hui, au-delà de la courte définition que nous avons de la maladie, il existe un grand nombre de questions basiques la concernant, pour lesquelles nous n'avons aucune réponse, exprime-t-elle. Quels sont les facteurs de risque de cette maladie ? L'environnement a-t-il une influence sur le risque de la développer ? Quel est le rôle de la génétique, et quels gènes en particulier ? Comment la maladie évolue-t-elle dans le temps ? Quand et comment commence-t-elle ? »

Ce que l'on sait de l'endométriose

Lorsque vient le moment des règles, l'endomètre est naturellement éliminé. Chez les femmes atteintes d'endométriose, du tissu endométrial modifié se retrouve implanté dans la cavité pelvienne, à l'extérieur de l'utérus. On classe la maladie selon quatre macrophénotypes. Lorsque les lésions ne dépassent pas quelques millimètres de diamètre, l'endométriose est dite superficielle ou péritonéale. Si les lésions font plus de cinq millimètres et sont profondément inscrites sous le péritoine, la membrane recouvrant la cavité abdominale dans son ensemble, on parle d'endométriose

profonde. Il arrive aussi que des kystes endométriosiques apparaissent sur les ovaires : ce sont des endométriomes. Enfin, l'endométriose extra-pelvienne décrit l'apparition de lésions typiques de la maladie au niveau d'organes éloignés de l'utérus : le diaphragme ou plus rarement les poumons voire le cerveau. « En revanche, et c'est assez perturbant, les stades existants de la maladie ne sont pas corrélés aux symptômes, avertit Marina Kvaskoff. En effet, une femme atteinte d'endométriose profonde peut être asymptomatique tandis qu'une patiente peut énormément souffrir d'une endométriose superficielle. »

Autre fait notable : l'endométriose est une maladie hormono-dépendante. Les lésions prolifèrent en présence d'œstrogènes, produites en d'énormes quantités au moment des règles. Supprimer les règles, par la pilule contraceptive, est donc l'un des traitements proposés pour l'endométriose. « La pilule est le traitement médicamenteux de première intention », explique Marina Kvaskoff. La chirurgie est également possible, dans le but de retirer les lésions. « Malheureusement, les lésions peuvent revenir après chirurgie chez certaines patientes. Il existe différents types de parcours et la chirurgie peut être salvatrice comme elle peut ne pas fonctionner du tout, voire empirer la situation. Il semblerait qu'il existe une récurrence des lésions et des douleurs dans certains cas », ajoute la chercheuse.

Il existe quatre grandes théories expliquant la pathogénèse de l'endométriose. La théorie du reflux, dite des menstruations rétrogrades, est la plus communément décrite. À l'origine de cette hypothèse, l'idée qu'un reflux des menstruations s'opère durant les cycles menstruels à travers les trompes de Fallope, reliant les ovaires à l'utérus. Les tissus de l'endomètre s'implantent alors dans la cavité pelvienne. Cependant, cette théorie n'explique pas tous les cas d'endométriose, et d'autres hypothèses existent. La théorie in-situ explique par exemple, en attribuant une origine embryonnaire à la maladie, pourquoi l'endométriose touche certaines femmes atteintes du syndrome de Rokitansky (absence d'utérus et des trompes de Fallope), ou avant leurs premières règles, et certains hommes. En revanche, cette théorie implique une distribution uniforme des lésions dans le péritoine ; or, les observations montrent que les lésions se concentrent plus souvent du côté gauche. La théorie lympho-vasculaire avance que les cellules de l'endomètre utilisent les canaux lymphatiques et vasculaires, à l'instar des métastases, pour se déplacer jusqu'à des sites ectopiques. « Cette théorie, si elle explique parfaitement les cas d'endométriose extra-pelvienne,

n'explique pas les autres cas recensés de la maladie », commente Marina Kvaskoff. Enfin, la théorie des cellules souches explique les cas d'endométriose observés chez des nourrissons et notamment la présence de saignements vaginaux chez le nouveau-né. « Concrètement, aucune théorie n'explique tous les cas d'endométriose observés jusqu'à présent. Il est même possible que plusieurs d'entre elles surviennent chez un même individu ! » complète la chercheuse.

L'écoute des patientes, pierre angulaire du diagnostic

« Concernant le diagnostic de la maladie, il n'existe pas de biomarqueurs validés de l'endométriose. Le moyen de détection de référence reste l'imagerie : échographies endovaginales et IRM du pelvis, la partie basse du bassin, poursuit l'épidémiologiste. Le problème est qu'il n'y a pas assez de radiologues suffisamment formés pour détecter les lésions, qui peuvent d'ailleurs être presque invisibles pour un œil non-expert. Nous avons besoin de meilleurs outils de diagnostic, mais aussi d'une meilleure écoute des patientes. »

Les questionnaires ont un rôle majeur à jouer dans la prise en charge et le diagnostic de l'endométriose. Arnaud Fauconnier est directeur du laboratoire Risques cliniques et sécurité en santé des femmes et santé périnatale (RISQC – Univ. Paris-Saclay, UVSQ). Ses travaux se concentrent notamment sur les outils de mesure de diagnostics et de qualité de vie des patientes. Gynécologue-obstétricien de formation, Arnaud Fauconnier est également à l'origine d'EndoCap, un programme de recherche concernant l'endométriose et la mesure de la qualité de vie des patientes et du handicap que représente la maladie pour elles. « Le diagnostic de l'endométriose est extrêmement difficile, car c'est une maladie qui peut être invisible durant les examens gynécologiques de routine », explique la gynécologue. Le programme s'appuie sur une base de données concentrant près de 1 000 patientes porteuses d'endométriose. C'est à l'aide d'un questionnaire, baptisé ENDOL-4D et rempli de manière autonome par les candidates, que sont mesurés les symptômes et l'altération de la qualité de vie.

La Communauté de patients pour la recherche (ComPaRe) est une cohorte de patients souffrant de différentes maladies chroniques et acceptant de participer à la recherche sur ces maladies à l'aide de questionnaires. En 2019, la sous-cohorte sur l'endométriose y est lancée. Coordinatrice de l'étude, Marina Kvaskoff loue l'importance de ce modèle participatif dans la recherche : « En contribuant à ComPaRe-Endométriose, en répondant à des questionnaires concernant leur maladie, leur quotidien et leurs souffrances, les patientes sont actrices de la recherche ». Plus

de 10 000 patientes ont jusqu'à aujourd'hui participé à l'étude, et des premiers résultats concernant les perspectives des patientes pour améliorer leur prise en charge ont été récemment publiés.

Une errance diagnostique terrifiante et inacceptable

En parallèle des questionnements concernant la pathogénèse et les outils de détection de l'endométriose, l'errance diagnostique autour de cette maladie est également une problématique majeure. D'après l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le délai moyen entre l'apparition des premiers symptômes et le diagnostic est compris entre sept et dix ans. « La plupart des femmes atteintes ont consulté un médecin environ cinq fois avant d'obtenir le bon résultat. Cette errance diagnostique est terrifiante, inacceptable », déplore Arnaud Fauconnier.

« Comment expliquer ce délai immense ? se questionne Marina Kvaskoff. Nous faisons face à plusieurs problèmes. D'une part, la banalisation des symptômes. Les femmes victimes de douleurs durant les règles ne s'inquiètent généralement pas immédiatement, et malheureusement leur entourage et le personnel médical non plus. Dans ComPaRe-Endométriose, on relève de nombreux témoignages de patientes rapportant que beaucoup de médecins passent tout simplement à côté des symptômes, par manque de formation, ou rétorquent carrément "C'est dans votre tête". La formation des professionnels de santé est lacunaire pour reconnaître la maladie. »

Cette période d'errance ajoute de la souffrance aux patientes et se traduit également en un casse-tête méthodologique au sein de la communauté scientifique. « Toutes les études réalisées jusqu'à présent se focalisent sur le diagnostic de l'endométriose. Finalement, il est complexe de travailler sur le risque d'endométriose ou sur les débuts de la maladie car très souvent, ce sont des cas d'endométriose qui ont pu accéder au diagnostic que nous observons, et des patientes porteuses de la maladie depuis plusieurs années », constate Marina Kvaskoff.

En somme, voilà une maladie décrite depuis quatre millénaires dont ne sont connus avec certitude ni les causes, ni les formes, ni les moyens de diagnostic. Pour Marina Kvaskoff, c'est tout sauf un hasard si la recherche sur l'endométriose manque de moyens, alors que la maladie ne touche que les femmes. « Les données actuelles montrent que les recherches concernant les pathologies spécifiquement masculines sont bien mieux financées que celles se concentrant sur les pathologies dites féminines. L'endométriose est un exemple criant des biais de genre dans la recherche. »

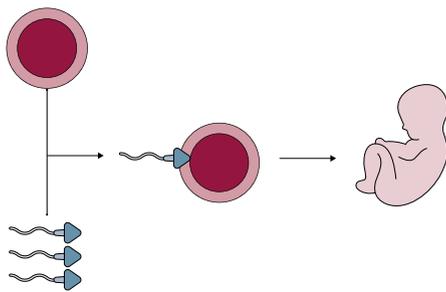


Publications

- Fauconnier A. et al. Early identification of women with endometriosis by means of a simple patient-completed questionnaire screening tool: a diagnostic study, *Fertility and Sterility*, 116 (6), 2021.
- Gouesbet S. et al. Patients' perspectives on how to improve the management of endometriosis: a citizen science study within the ComPaRe-Endometriosis e-cohort. *J Wom Health*, 2022.
- Mirin AA. Gender Disparity in the Funding of Diseases by the U.S. National Institutes of Health. *J Womens Health*. 2021.
- Rosenbaum J. et al. Des pistes de réflexion pour la recherche sur l'endométriose en France. *Med Sci (Paris)*, 38 (3), 2022.

Titre

Explorations au cœur du système reproducteur



La reproduction est une fonction commune à tous les organismes vivants. Ce processus abstrus et parfois mystérieux débouchant sur la création d'un nouvel individu fascine de nombreux scientifiques de l'Université Paris-Saclay.

La reproduction peut être sexuée ou asexuée : soit elle nécessite deux individus de sexe différent et aboutit à la naissance d'un individu au matériel génétique inédit, soit un individu produit une « copie » de lui-même. Chez l'être humain, comme chez tous les autres mammifères, la reproduction est sexuée : elle nécessite deux cellules reproductrices, un gamète mâle (spermatozoïde) et un gamète femelle (ovule), porteurs de l'information génétique des individus parents. Lorsque les deux gamètes se rencontrent, c'est la fécondation : ovule et spermatozoïde fusionnent en une cellule appelée œuf, qui entre en division. L'embryon ainsi formé donne alors un fœtus qui se développe jusqu'à la naissance du nouvel individu.

Il arrive cependant que la reproduction s'enraye, notamment chez l'être humain. Au sein de l'équipe Reproduction humaine et modèles animaux (RHuMA) du laboratoire Biologie de

la reproduction, environnement, épigénétique et développement (BREED – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, INRAE, ENVA), François Vialard étudie les mécanismes cellulaires et moléculaires à l'origine de dysfonctionnements du système reproducteur. « Notre travail consiste à identifier des anomalies génétiques. À l'avenir, nous espérons proposer des thérapies pour les contourner. Nous travaillons beaucoup sur la génétique des infertilités masculines et, en l'occurrence, sur les arrêts méiotiques », explique le chercheur.

La méiose est un processus de division cellulaire impliqué dans la formation des gamètes. Un arrêt méiotique peut conduire à une azoospermie, soit l'absence de spermatozoïdes dans l'éjaculat, et donc à l'infertilité. « Pour le moment, nous avons tout juste démontré l'existence d'altérations génétiques, à l'origine des anomalies. Il faut désormais contourner le problème. Les origines de ces anomalies ne touchent qu'un seul gène. Si nous sommes capables de réparer l'anomalie sur ledit gène, alors celle-ci disparaît », complète le chercheur.

L'équipe animée par François Vialard s'intéresse également aux cas de fausses couches à répétition, avec l'idée que « le gamète féminin serait à l'origine de la plupart des anomalies chromosomiques ou aneuploïdiques chez l'embryon ». Les scientifiques de l'équipe RHuMA travaillent sur de nombreux autres projets autour du système reproducteur. L'équipe a notamment mis au point un modèle de perfusion placentaire, pour observer le passage transplacentaire de molécules thérapeutiques, notamment contre le cancer. La première greffe d'utérus en France a été rendue possible à Suresnes suite à ces études.

Lier la reproduction aux mathématiques

Hébergée au centre Inria de Saclay, l'équipe-projet Inria-INRAE-CNRS *Multiscale population dynamics for physiological systems* (MUSCA) aborde la question de la reproduction par un angle captivant : celui de la modélisation mathématique. « La fonction ovarienne est un système éminemment dynamique, que l'on observe aujourd'hui principalement de manière échantillonnée, ponctuelle et provenant généralement d'individus différents. Nous avons besoin d'une reconstruction dynamique », explique Frédérique Clément, à l'origine de MUSCA. La reproduction est également finement contrôlée par de nombreux acteurs, notamment hormonaux, en interaction : tout devient alors extrêmement contre-intuitif. La modélisation permet de reconstruire une cohérence. » Le follicule ovarien, structure multicellulaire dans laquelle les ovocytes (ou futurs ovules) sont portés à maturation, est au cœur des études menées par les

scientifiques de l'équipe MUSCA. « Notre travail consiste soit à caractériser finement l'évolution d'un follicule au cours de son développement, en termes de développement structurel et de dynamique cellulaire, soit à suivre l'évolution de la population de follicules, en les représentant chacun par un marqueur résumant sa maturité (son diamètre, par exemple). Notre objectif est de fusionner ces deux approches », complète Frédérique Clément.

Porté au sein de MUSCA par Romain Yvinec, le projet collaboratif OVOPAUSE tente de répondre aux grandes questions soulevées par les dynamiques folliculaires, en adoptant une approche de physiologie comparée entre différentes espèces. « C'est en comparant différents systèmes que l'on extrait les mécanismes propres et essentiels aux dynamiques observées. L'objectif d'OVOPAUSE est d'expliquer l'évolution de la population de gamètes femelles sur toute la durée de vie d'un individu », complète le chercheur. Le projet se focalise sur les systèmes reproducteurs des souris et des médakas, des petits poissons venus d'Asie du Sud-Est. « Plusieurs travaux ont déjà été menés concernant l'évolution des populations de gamètes sur le cycle ovarien, mais beaucoup moins sur l'ensemble de la durée de vie. Or, on sait que ces dynamiques-là débutent dès la naissance voire dans l'embryon. Des événements se produisant très tôt dans la vie de l'individu peuvent avoir des conséquences sur son statut reproducteur », poursuit Romain Yvinec.

Comme l'être humain, la souris est un mammifère à folliculogenèse (processus de création de follicules) dite non-renouvelée, ou quasi non-renouvelée : le stock de follicules constitué au stade périnatal ne cesse de décroître au cours de la vie de l'individu. Dans le cas des femelles médakas, la folliculogenèse est renouvelée par une production durable de nouveaux gamètes. « Notre but est de comparer ces deux stratégies au sein de modèles mathématiques, afin d'explorer la manière dont les organismes gèrent un stock de gamètes ou son renouvellement sur toute la vie d'un individu », conclut le chercheur.

À terme, les recherches en biologie de la reproduction offriront une meilleure appréhension de ce processus complexe et le développement de stratégies d'outils pour le diagnostic et la prise en charge des troubles de la reproduction.

Publications

- Baillif G. et al., Averaging of a Stochastic Slow-Fast Model for Population Dynamics: Application to the Development of Ovarian Follicles, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 82 (1), 2022.
- Capron C. et al, Evidence for high breakpoint variability in 46, XX, SRY-positive testicular disorder and frequent ARSE deletion that may be associated with short stature, *Andrology*, 10 (8), 2022.



Journal



Titre

COP27 : QUELS SONT LES ENJEUX DE LA CONFÉRENCE DU CLIMAT QUI S'OUVRE EN ÉGYPTE ?

Les dirigeants politiques du monde entier défilent à partir de lundi à la COP27, sous pression pour renforcer leurs engagements climatiques face à un réchauffement qui s'emballe et pour apporter un soutien financier aux pays pauvres, qui en souffrent le plus. Les explications de Paul Leadley, professeur d'écologie à l'Université Paris-Saclay.

https://www.youtube.com/watch?v=FuB4ooWb-DoA&ab_channel=FRANCE24

Journal

The New York Times

Titre

NOBEL PRIZE IN PHYSICS IS AWARDED TO 3 SCIENTISTS FOR WORK EXPLORING QUANTUM WEIRDNESS



Alain Aspect, John F. Clauser and Anton Zeilinger were recognized for their experiments in an area that has broad implications for secure information transfer and quantum computing.

<https://www.nytimes.com/2022/10/04/science/nobel-prize-physics-winner.html>

Journal

The Washington Post

Titre

WAIT, WHY ARE THERE SO FEW DEAD BUGS ON MY WINDSHIELD THESE DAYS?

After a long drive, the only thing that makes our stomachs churn faster than a windshield smeared with bug guts is a windshield bearing no evidence of insect life whatsoever. It feels like a fundamental pillar of the planet's ecology has snapped.

<https://www.washingtonpost.com/business/2022/10/21/dead-bugs-on-windshields/>

Journal

Frankfurter Allgemeine

Titre

ATOMENERGIE? KLINGT NACH ZUKUNFT



Frankreich investiert in die Kernenergie, Deutschland will ganz aus ihr aussteigen. So unterschiedlich die Ausgangslage auch ist, stimmt doch eines für beide Länder: Es fehlt der akademische Nachwuchs.

<https://www.faz.net/aktuell/karriere-hochschule/kerntechnik-es-fehlen-akademiker-im-bereich-atomkraft-18269675.html>

Journal



INDEPENDENT

Titre

EXPANDING VOTING RIGHTS CAN REDUCE VIOLENCE, STUDY CLAIMS

"In the current context of increasing discontent with democracy, understanding the voting-violence nexus is of extreme relevance," said the study's author.

<https://www.independent.co.uk/independent-premium/expanding-voting-rights-reduce-violence-study-b2197889.html>

Journal



Titre

ORION'S SWORD STAR NURSERY CAPTURED IN NEVER-BEFORE-SEEN DETAIL



An extremely detailed image of a stellar nursery captured by UV light from massive young stars reveals the role of intense radiation in heating and shaping the fuel for forming stars, as per a report by Space.com.

<https://www.indiatimes.com/technology/science-and-future/orions-sword-star-nursery-captured-in-never-before-seen-detail-579662.html>

Titre

Les campus font leur cinéma

Qu'ont en commun les séries

Le remplaçant avec Joey Starr, I3P avec Marc Lavoine, et Joséphine, ange gardien avec Mimi Mathy ? Ou encore les films Proxima avec Eva Green, Le lion avec Dany Boon, et L'Événement, Lion d'Or au festival de Venise 2021 ? Tous ont été en partie filmés dans les couloirs, salles de cours, halls de bâtiments ou espaces extérieurs de l'Université Paris-Saclay. Car les étudiantes, étudiants et personnels de l'Université l'ont sûrement remarqué : leurs lieux de cours et de déambulation accueillent depuis quelques temps un public nouveau, attiré ici par la diversité de décors qu'offrent les campus de l'Université.

Pionnier en la matière, le CEA Paris-Saclay reçoit sa première équipe de tournage en 2015, sous l'impulsion de François Bugeon, chargé de communication dans l'unité de communication du CEA Paris-Saclay. Un vrai défi car il a fallu rendre possible l'accueil de ce type d'activité dans cette enceinte sécurisée. À CentraleSupélec, l'activité démarre fin 2017, sous l'impulsion de la Direction générale des services de l'époque, et est coordonnée par Cécile Arpin, responsable régie générale / event à la Direction du patrimoine immobilier et de l'environnement de travail (DPIET). À la Faculté des sciences d'Orsay, l'activité se met réellement en place à la sortie du premier confinement, au printemps 2020. Toute l'activité événementielle du service communication, médiation et patrimoine scientifiques étant suspendue à cause de la pandémie de COVID-19, Anne-Karine Nicolas, responsable-adjointe du service, répond à quelques demandes de tournages. L'ENS Paris-Saclay reçoit, pour sa part, ses premières sollicitations début 2021. « L'école voulait soutenir l'industrie du cinéma qui n'allait pas très bien après le confinement », déclare Maëva Baron, chargée de communication à l'ENS Paris-Saclay. Pour tous, le bouche à oreille fonctionne très bien et, très vite, d'autres demandes affluent.

Trouver le lieu idéal

Le déroulé est toujours le même : un repère missionné par une société de production

prend contact avec l'établissement en indiquant les décors recherchés et soumet un synopsis. Si la demande convient à l'établissement et sur la base de quelques photos, il se rend sur place pour s'imprégner des lieux et prendre de nouvelles photos. Si celles-ci plaisent à la société de production, l'équipe complète (directeur de production, réalisateur, chef décorateur, chef opérateur, régisseur, un ou deux acteurs, etc.) se déplace à son tour pour visiter les lieux.

Les plus recherchés sont ceux susceptibles d'être transformés en décors de commissariat, d'hôpital, d'école, de hall d'aéroport, ou ceux atypiques. Avec ses bâtiments modernes ou des années 70 et ses lieux exceptionnels, comme les salles blanches de laboratoires, le campus d'Orsay coche toutes les cases. De la même manière, les espaces de circulation, halls, amphithéâtres, salles de cours et parkings des bâtiments de CentraleSupélec et de l'ENS Paris-Saclay sont très prisés. Au CEA Paris-Saclay, la diversité est telle que souvent les équipes de production y imaginent tous les décors de leur projet.

Chaque location fait l'objet d'une convention signée. Les tarifs vont de 1 500 et 9 000 € HT par jour selon le type de lieu, le nombre de personnes attendues et l'établissement d'accueil. « Pour un jour de tournage, il faut compter quatre jours de présence des équipes sur place, car il faut installer les décors et les personnes, et remettre les lieux en état après coup », explique Anne-Karine Nicolas. Ce sont des jours que nous facturons également. » À la Faculté des sciences d'Orsay, l'argent récolté sert à la rénovation des bâtiments. À CentraleSupélec, la DPIET pourvoit grâce à lui à l'achat de nouveaux matériels apportant davantage de confort aux services. C'est aussi le cas au CEA Paris-Saclay, qui consacre par ailleurs une partie des sommes à valoriser son patrimoine, comme la façade lumineuse de l'ancien réacteur nucléaire EL3.

De confortables conditions de tournage

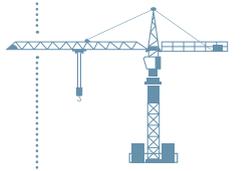
Publicité, documentaire, clip, série, téléfilm, film... Les projets accueillis sont variés et leur nombre variable en fonction des capacités de chacun. En 2021, l'ENS Paris-Saclay a accueilli quatre tournages. Trois en 2022. Depuis 2015, dix équipes ont posé leurs caméras au CEA Paris-Saclay. Entre novembre 2018 et juillet 2022, le campus d'Orsay a hébergé une

vingtaine de tournages. À CentraleSupélec, l'activité tournage sur 2021 représente une cinquantaine de jours calendaires, davantage sur 2022.

Aujourd'hui, cet attrait pour les campus de l'Université ne cesse d'augmenter. « Chaque jour, nous refusons des tournages », s'excuse presque Cécile Arpin. Des demandes commencent à arriver auprès d'autres composantes, comme l'IUT d'Orsay ou de Cachan, la Faculté Jean Monnet ou la Faculté des sciences du sport. Comment expliquer un tel engouement ? « Nous disposons d'une capacité d'accueil incroyable, avance Cécile Arpin. Nous pouvons accueillir le tournage en lui-même, mais également allouer des espaces pour la cantine, les loges d'acteurs, le HMC (habillage, maquillage, coiffure), le stockage de matériel, le bureau de la production, les salles de pause, etc., et faire stationner les camions. »

À chaque fois, les personnes et services directement affectés sont informées, « même si nous sommes tenus à une certaine confidentialité », concède Maëva Baron. Pas de communication à grande échelle, en somme. Pour autant, la cohabitation se passe sans encombre et les tournages suscitent amusement et curiosité. « Les étudiants sont très respectueux, même si nous accueillons des têtes d'affiche », constate Cécile Arpin. « Les équipes de tournage sont très bien organisées. Elles savent se faire discrètes », remarque Anne-Karine Nicolas. « Elles sont toujours disposées à montrer leur univers », renchérit Maëva Baron. Souvent, personnels et étudiants participent au projet en tant que figurants.

Les quelques réticences initialement liées à la potentielle gêne occasionnée appartiennent désormais au passé. « L'activité fait partie de l'école. Elle est un moteur de communication positif qui apporte une vraie visibilité », déclare Cécile Arpin. « Les tournages font vivre le CEA Paris-Saclay à travers son patrimoine. Ils servent d'outil de communication interne et changent la vision qu'ont les personnels de leur lieu de travail », souligne François Bugeon. Ce sont comme des moments de respiration. » Dernièrement, le tournage de la série Rictus avec Fred Testot a été prétexte à un moment festif à l'occasion des 70 ans du CEA Paris-Saclay. « Au final, ce ne sont pas que des campus universitaires, ce sont aussi des lieux où il y a de la vie », conclut François Bugeon.



Film *Juste Ciel!* - Bât. 301 du campus d'Orsay (couloir d'un hôpital de province)
© Faculté des sciences d'Orsay



Film *L'Événement* - Extérieurs Bât. 452 campus d'Orsay (Décors d'université années 1970)
© Faculté des sciences d'Orsay



Film *Proxima* - Eva Green et Zélie Bouliant sur la simulation de la simulation de sol lunaire construite dans EL3 (CEA, Paris-Saclay) - © Dharamsala - Darius Films



ON Y ÉTAIT			FÉVRIER 2023			Date	Lieu	Hôte
<h2>OCTOBRE 2022</h2>			Date	Lieu	Hôte	11 au 15	les différents campus de l'Université Paris-Saclay	Université Paris-Saclay
Date	Lieu	Hôte	<h2>FÊTE DE LA SCIENCE</h2>			<h3>JOURNÉES PORTES OUVERTES POST-BAC 2023</h3>		
7 au 17	tous les campus	Université Paris-Saclay				Titre Description Véritable temps forts de l'année universitaire, les Journées Portes Ouvertes offrent aux lycéens, aux étudiants, ainsi qu'à leurs familles, l'opportunité de se renseigner sur les formations dispensées à l'Université Paris-Saclay et de découvrir les différents campus : Sceaux, Orsay, Saclay, Cachan. https://www.universite-paris-saclay.fr/journees-portes-ouvertes-post-bac-2023		
Titre <h3>FÊTE DE LA SCIENCE</h3>			Titre <h3>COLLOQUE « HÉMOSTASE ET THROMBOSE »</h3>			Description Organisée par le Conseil scientifique de la Faculté de médecine de l'Université Paris-Saclay, ce colloque a pour but de réunir des spécialistes des maladies thrombotiques, première cause de mortalité dans le monde. https://www.medecine.universite-paris-saclay.fr/actualites/colloque-hemostase-et-thrombose-06/02/23		
Description Comme chaque année, la Fête de la science s'est tenue au début d'octobre, sur tous les campus de l'Université Paris-Saclay! Petits et grands ont pu profiter d'ateliers ludiques, de visites et d'échanges avec les centaines de scientifiques présents. https://www.universite-paris-saclay.fr/actualites/la-fete-de-la-science-2022-luniversite-paris-saclay			Description Organisée par le Conseil scientifique de la Faculté de médecine de l'Université Paris-Saclay, ce colloque a pour but de réunir des spécialistes des maladies thrombotiques, première cause de mortalité dans le monde. https://www.medecine.universite-paris-saclay.fr/actualites/colloque-hemostase-et-thrombose-06/02/23			Date	Lieu	Hôte
<h2>NE PAS MANQUER</h2>			Date	Lieu	Hôte	24	ENS Paris-Saclay	La Scène de recherche de l'ENS Paris-Saclay
<h2>JANVIER 2023</h2>			Date	Lieu	Hôte	Titre <h3>SPECTACLE « DARK STARS »</h3>		
Date	Lieu	Hôte	<h3>DUODAY PARIS-SACLAY</h3>					
14/11/22 au 3/02/23	Atrium d'EDF Lab Paris-Saclay	EDF	Description Dans le but de favoriser l'inclusion des personnes en situation de handicap, la semaine DuoDay est renouvelée sur les campus de l'Université Paris-Saclay. Objectif : former des duos de personnels de l'Université et d'étudiantes et étudiants en situation de handicap pour partager leur quotidien le temps d'une journée. https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/duoday-paris-saclay			Description Véritable projet multiéchelle, mêlant animation, photographie et cinéma, le spectacle Dark Stars questionne la science du spectre lumineux et l'interaction entre temps, lumière et matière. https://ens-paris-saclay.fr/agenda/spectacle-dark-stars		
Titre <h3>EXPOSITION « FAKE NEWS: ART, FICTION, MENSONGE »</h3>			Date	Lieu	Hôte	Titre <h3>THÉÂTRE: « MAUVAISES FILLES »</h3>		
			8 au 10	ENS Paris-Saclay	La Scène de recherche de l'ENS Paris-Saclay			
Description Comment naît une fausse information ? C'est à cette question que l'exposition portée par EDF et inédite en France, regroupant des œuvres françaises et internationales, va tenter de répondre. L'exposition, dans un format « focus », est accessible du lundi au vendredi. https://www.universite-paris-saclay.fr/evenements/ceci-nest-pas-une-fake-news-venez-decouvrir-lexposition			Description Cette pièce, composée de portraits de femmes émancipatrices d'hier et d'aujourd'hui, a été co-construite par L'Indicible compagnie, en résidence à la Scène de recherche de l'ENS Paris-Saclay, et des élèves de l'ENS Paris-Saclay et de CentraleSupélec. https://ens-paris-saclay.fr/agenda/theatre-mauvaises-filles					

Ont contribué à ce numéro :

• **Cécile Arpin**, responsable régie générale / event à la Direction du patrimoine immobilier et de l'environnement de travail de CentraleSupélec • **Amaria Baghdadli**, chercheuse au Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, Inserm) • **Maëva Baron**, chargée de communication à l'ENS Paris-Saclay • **Quentin Barreau**, fondateur de l'entreprise Cocagne • **Moussa Benhamed**, chercheur au sein de l'Institut des sciences des plantes de Paris-Saclay (IPS₂ – Univ. Paris-Saclay, CNRS, INRAE, Univ. d'Évry, Univ. Paris Cité) • **Nicolas Bouché**, chercheur à l'Institut Jean-Pierre Bourgin (JPB – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech) • **Kenzi Boukantar**, ancien étudiant de l'IUT de Cachan • **François Bugeon**, chargé de communication dans l'unité de communication du CEA Paris-Saclay • **Adrien Burlacot**, fondateur du Burlacot Lab • **Benoît Canaud**, chercheur au sein du Laboratoire matière sous conditions extrêmes (LMCE – Univ. Paris-Saclay, CEA) • **Frédérique Clément**, chercheuse au sein de l'équipe-projet Inria-INRAE-CNRS *Multiscale population dynamics for physiological systems* • **Dorian Colas des Francs**, coordinateur du pôle pilotage de l'offre de formation et gestion de la scolarité à la Direction de la formation et de la réussite de l'Université Paris-Saclay • **Arnaud Fauconnier**, directeur du laboratoire Risques cliniques et sécurité en santé des femmes et santé périnatale (RISCQ – Univ. Paris-Saclay, UVSQ) • **Sébastien Floquet**, professeur et référent défense à l'UVSQ • **Anne Gabory**, chercheuse au sein de l'équipe Mécanismes épigénétiques et construction – prédiction des phénotypes du laboratoire Biologie de la reproduction, environnement, épigénétique et développement (BREED – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, INRAE, ENVA) • **Aurélié Gentils**, chercheuse au sein du Laboratoire de physique des deux infinis – Irène Joliot-Curie (IJCLab – Univ. Paris-Saclay, CNRS, Univ. Paris Cité) • **Pascale Hennequin**, responsable de l'équipe Plasmas de fusion magnétique du Laboratoire de physique des plasmas (LPP – Univ. Paris-Saclay, CNRS, École polytechnique, Observatoire de Paris, Sorbonne Univ.) • **Pierre Hilson**, porteur de l'initiative « Des Plantes et des Hommes » suivie par le réseau Sciences des Plantes de Saclay • **Hélène Jammes**, responsable de l'équipe Mécanismes épigénétiques et construction – prédiction des phénotypes du laboratoire Biologie de la reproduction, environnement, épigénétique et développement (BREED – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, INRAE, ENVA) • **Maxime Jorland**, enseignant chargé de suivi pédagogique à la Faculté Jean Monnet • **Olivier Kahn**, directeur de la Diagonale Paris-Saclay • **Marina Kvaskoff**, chercheuse au sein de l'équipe Exposome, hérédité, cancer et santé du Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (CESP – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, Inserm) • **Olivier Lambotte**,

professeur des universités à la Faculté de médecine de l'Université Paris-Saclay • **Angeline Mihailov**, doctorante au sein de l'équipe Baobab de Neurospin (Univ. Paris-Saclay, CEA) • **Pierre Morel**, maître de conférences au sein de l'équipe Plasmas de fusion magnétique du Laboratoire de physique des plasmas (LPP – Univ. Paris-Saclay, CNRS, École polytechnique, Observatoire de Paris, Sorbonne Univ.) • **Maria Munier**, directrice de la vie étudiante et de campus de l'Université d'Évry • **Anne-Karine Nicolas**, responsable-adjointe du service communication, médiation et patrimoine scientifiques à la Faculté des sciences d'Orsay • **Léa Roussin**, doctorante à l'Institut Microbiologie de l'alimentation au service de la santé humaine (MICALIS – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech) • **Jörg Tost**, chercheur au sein du Laboratoire épigénétique et environnement (LEE) au Centre national de recherche en génomique humaine (CNRGH – Univ. Paris-Saclay, CEA) • **Gaël Varoquaux**, chercheur au sein de l'équipe-commune Inria-CEA Parietal, de NeuroSpin (Univ. Paris-Saclay, CEA) • **François Vialard**, chercheur au sein de l'équipe Reproduction humaine et modèles animaux du laboratoire Biologie de la reproduction, environnement, épigénétique et développement (BREED – Univ. Paris-Saclay, UVSQ, INRAE, ENVA) • **Romain Yvinec**, chercheur au sein de l'équipe-projet Inria-INRAE-CNRS *Multiscale population dynamics for physiological systems* • **Tatiana Zerjal**, chercheuse au sein de l'unité Génétique animale et biologie intégrative (GABI – Univ. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech)

Membres du Comité éditorial ayant participé au numéro :

Delphine Achour-Carbonell • Julie Bernede • François Bugeon • Bruno Chanetz • Cyndie Clara Costa • Morgann Crozet • Frédérique Delville • Sébastien Descotes-Genon • Sabine Ferrier • Maëva Fezas • Laurence Franchiset • Delphine Joseph • Olivier Kahn • Laetitia Lecorné • Claire Lenz • Nathalie Limonta • Catalin Miron • Cécile Oriot • Bertrand Poumellec • Damien Prim • Hervé Rivières • Alexandra Rouquette • Jean-Yves Salpin • Bénédicte Stengel • Odile Stephan • Tiina Suomijarvi

Directrice de la publication : Estelle Iacona
Directrice de la rédaction : Karine Wecker
Rédactrice en chef : Véronique Meder
Rédaction : Antoine Duval, 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

Lancement de *Trajectoire(s)*, la revue scientifique d'Alumni-ONERA

À l'occasion du sixième anniversaire de sa création, l'association Alumni-ONERA, regroupant les docteurs, doctorantes et doctorants de l'ONERA, se dote d'un journal : *Trajectoire(s)*. Le premier numéro retrace les activités de l'association au cours de l'année 2021. Retours sur les conférences, tables rondes et expositions qui ont rythmé la vie de cette société savante.

<https://www.onera.fr/fr/actualites/lancement-du-journal-alumni-onera>

La revue *Terrains & travaux* fête ses vingt-deux ans

Fondée en 2000, la revue biannuelle de sciences sociales éditée par l'ENS Paris-Saclay revient avec un quarantième numéro intitulé « Dire la sexualité ». Une thématique faisant écho au sujet du deuxième numéro de *Terrains et Travaux*, paru en 2001, qui avait alors pour nom « Sexualités déviantes / sexualités militantes ».

<https://www.cairn.info/revue-terrains-et-travaux-2022-1.htm>

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 (3/3)

IM

L'*Institut intégratif des matériaux* (IM) vise à fédérer et structurer les forces autour de la science des matériaux (composition, fabrication, synthèse, caractérisation de matériaux innovants, bio-inspirés...) avec des accents sur le développement soutenable, l'économie d'énergie et de ressources, le recyclage, la toxicité, les sciences du numérique. IM cherche à implémenter des outils et procédés innovants et durables dans toute la chaîne « étude – élaboration – mise en œuvre – utilisation – réemploi ou recyclage » ; à développer des études pionnières tout au long de cette chaîne ; à intégrer la modélisation et l'emploi des outils numériques dans la conception amont, les procédés et la caractérisation multiéchelle des matériaux afin de leur conférer les fonctions recherchées ; à valoriser la recherche en développant la formation et les métiers des sciences des matériaux ; à nourrir le tissu industriel dans le cadre du développement de l'industrie 4.0.

GS impliquées: Biosphera; Chimie; Géosciences, climat, environnement, planètes; Health and Drug Sciences; Humanités et sciences du patrimoine; Informatique et sciences du numérique; Institut des sciences de la lumière; Physique; Sciences de l'ingénierie et des systèmes.

CS³

Le Centre des sciences spatiales de l'Université Paris-Saclay (CS³) vise à organiser la recherche en sciences de l'espace, qu'il s'agisse de mieux comprendre l'écosystème Terre, le système solaire ou la formation des galaxies et la cosmologie. Il se concentre plus spécifiquement sur les perspectives offertes par les nanosatellites et sur les nouvelles méthodes d'analyse de données massives et complexes, éventuellement associées à des simulations.

GS impliquées: Géosciences, climat, environnement, planètes; Informatique et sciences du numérique; 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.**

MAISON

La Maison des intelligences sociales et numériques (MAISON) ambitionne d'éclairer les relations entre les intelligences sociales et numériques. Tout en mettant au cœur de ses préoccupations l'action scientifique et institutionnelle, elle a pour vocation d'élargir les questionnements, les parcours de production scientifique et de design des politiques publiques aux questions des inégalités et de la qualité de la gouvernance face aux nouvelles perspectives ouvertes par le numérique. Elle souhaite valoriser le dialogue avec les instances qui élaborent les standards de qualité, les normes et les régulations qui guident l'exercice du pouvoir et la validation des décisions portées par les intelligences sociales et numériques, dans des domaines comme la santé globale, la gouvernance des villes soutenables et résilientes, l'accès à la justice et le règlement des litiges ou encore la gestion des processus complexes d'organisation du travail.

GS impliquées: Droit; Économie et management; Humanités et sciences du patrimoine; Informatique et sciences du numérique; Mathématiques; Sociologie et science politique.

PALABRE

Patrimoine en laboratoire réflexif (PALABRE) a pour vocation d'intensifier les collaborations de recherche et de formation entre les différentes disciplines associées aux sciences du patrimoine, en intégrant les enjeux scientifiques et sociétaux touchant à l'économie du patrimoine et aux défis environnementaux. Le projet se structure autour de trois axes scientifiques: Matériaux, gestes, systèmes; Dématérialisation des objets, pratiques et modes opératoires; Vocabulaires.

GS impliquées: Chimie; Droit; Économie et gestion; Éducation, formation, enseignement; Géosciences, climat, environnement, planètes; Humanités et sciences du patrimoine; Physique; Sociologie et science politique.

SCULT

Science(s) et Culture(s): Sociétés de la connaissance et médiation des savoirs (SCULT) vise à fédérer ses différentes communautés autour de trois questionnements majeurs: la culture, vectrice et médiatrice des savoirs au sein des sociétés démocratiques; les médias comme filtres, relais ou prescripteurs des connaissances scientifiques; l'étude des rapports entre savoirs et pouvoirs. SCULT accorde une place importante aux questions de réflexivité et d'épistémologie de la connaissance. Il permet de mieux évaluer les modalités selon lesquelles les travaux de sciences humaines et sociales viennent éclairer les processus de médiation de l'ensemble des savoirs scientifiques.

GS impliquées: Éducation, enseignement, formation; Géosciences, climat, environnement, planètes; Humanités et sciences du patrimoine; Sociologie et science politique.