

RAPPORT ANNUEL

2017-2019

CHAQUE ANNÉE DEPUIS 1882,
**L'ESPCI PARIS FORME DES INGÉNIEURS
 D'INNOVATION** CAPABLES D'INVENTER
 L'AVENIR ET DE RÉPONDRE AUX ENJEUX
 DU MONDE DE DEMAIN.

AVEC UNE HISTOIRE RICHE DE **6 PRIX
 NOBEL ET PLUS DE 530 ENSEIGNANTS-
 CHERCHEURS** RÉPARTIS DANS
 11 UNITÉS DE RECHERCHE, L'ESPCI CRÉE
 L'INNOVATION EN ENCOURAGEANT
L'INTERDISCIPLINARITÉ ET LE DIALOGUE
 ENTRE SCIENCES FONDAMENTALES
 ET APPLIQUÉES.

- 4 ENTRETIEN CROISÉ
 - 6 5 CAMPUS
 - 8 L'ÉCOLE DES 6 PRIX NOBEL
 - 12 FAITS MARQUANTS
 - 16 UN NOUVEAU CAMPUS POUR 2024
À LA POINTE DE LA MODERNITÉ
 - 18 VISITE GUIDÉE DE LA FUTURE ESPCI PARIS
 - 22 PSL UNE UNIVERSITÉ DE RANG MONDIAL
 - 24 ESPCI ALUMNI : UN RELAI ESSENTIEL POUR
LE RAYONNEMENT DE L'ÉCOLE
 - 26 LE FONDS ESPCI PARIS SOUTENIR
LE RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE DE
L'ÉCOLE ET SES JEUNES TALENTS
-
- 28 ENSEIGNEMENT**
 - 30 UNE FORMATION INTERDISCIPLINAIRE RICHE
DE POSSIBILITÉS D'ORIENTATION
 - 32 LE CURSUS 3+1 : INNOVANT
 - 34 L'INTERNATIONAL UNE EXPÉRIENCE
ENCOURAGÉE
 - 35 FABRIQUER DES INGÉNIEURS D'INNOVATION
DIVERSITÉ ET RICHESSE DES PROFILS
 - 36 QUE DEVIENNENT NOS ÉLÈVES-INGÉNIEURS ?
-
- 38 RECHERCHE**
 - 40 ACCOMPAGNER LES JEUNES CHERCHEURS
 - 42 PRIX ET DISTINCTIONS SCIENTIFIQUES ET
ACADÉMIQUES DES CHERCHEURS ESPCI PARIS
 - 43 PRIVILÉGIER L'AGILITÉ ET L'EXCELLENCE
11 UNITÉS DE RECHERCHE
 - 44 CHIMIE BIOLOGIE INNOVATION [CBI]
 - 48 CHIMIE MOLÉCULAIRE, MACROMOLÉCULAIRE,
MATÉRIAUX [C3M]
 - 52 GULLIVER
 - 56 INSTITUT LANGEVIN
 - 60 INSTITUT DES MATÉRIAUX POREUX [IMAP]
 - 64 LABORATOIRE DE PHYSIQUE ET D'ÉTUDES DES
MATÉRIAUX [LPEM]
 - 68 LABORATOIRE PLASTICITÉ DU CERVEAU [LPC]
 - 72 PHYSIQUE ET MÉCANIQUE DES MILIEUX
HÉTÉROGÈNES [PMMH]
-
- 76 PHYSIQUE POUR LA MÉDECINE [PHYSMED]
 - 80 SCIENCES ET INGÉNIERIE DE LA MATIÈRE MOLLE
[SIMM]
 - 84 SPECTROMÉTRIE DE MASSE BIOLOGIQUE ET
PROTÉOMIQUE [SMBP]
-
- 88 INNOVATION**
 - 90 PC'UP, UN INCUBATEUR DEEPTech EN PLEINE
EXPANSION
 - 92 QUELQUES START-UP INCUBÉES À PC'UP
 - 94 L'IPGG, UN CENTRE D'EXCELLENCE DÉDIÉ
À LA MICROFLUIDIQUE
 - 96 LES CHAIRES INDUSTRIELLES
LES PARTENARIATS GAGNANT-GAGNANT
 - 97 DEUX BREVETS PAR MOIS EN MOYENNE
-
- 98 INTERNATIONAL**
 - 100 TRAVAILLER AVEC CEUX QUI NOUS RESSEMBLENT
 - 102 LES PARTENARIATS AVEC D'AUTRES UNIVERSITÉS
-
- 104 PATRIMOINE SCIENTIFIQUE**
 - 106 LA BIBLIOTHÈQUE : RENDRE ACCESSIBLE SAVOIR
ET PATRIMOINE
 - 108 LA COMMISSION PATRIMOINE : PRÉSERVER
ET PROMOUVOIR LE PASSÉ DE L'ÉCOLE
 - 110 ESPACE DES SCIENCES PIERRE-GILLES DE GENNES
-
- 112 RESSOURCES ET GOUVERNANCE**
 - 114 PERSONNEL ESPCI 2018
 - 115 CHIFFRES CLÉS 2018
 - 116 BUDGET 2017-2018
 - 118 ORGANIGRAMME SIMPLIFIÉ DE L'ESPCI PARIS
 - 120 LE CONSEIL D'ADMINISTRATION
 - 121 LES MEMBRES DU CHSCT
 - 122 UN CONSEIL SCIENTIFIQUE D'ENVERGURE
INTERNATIONALE
 - 123 UN CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT POUR SUIVRE
L'ÉVOLUTION DES FORMATIONS



VINCENT CROQUETTE
Directeur général de l'ESPCI Paris



RÉGIS ROSMADE
Secrétaire général de l'ESPCI Paris

ENTRETIEN CROISÉ L'ESPCI PARIS EST EN PLEINE MUTATION

ON DIT SOUVENT QUE L'ESPCI PARIS EST UNE ÉCOLE ATYPIQUE. QU'EST-CE QUI EN FAIT LA SINGULARITÉ ?

VINCENT CROQUETTE : Une des forces de l'ESPCI Paris est sa formation adossée à son centre de recherche, qui se fonde sur un enseignement en physique, chimie et biologie, incorporant des travaux pratiques (TP) qui occupent la moitié du temps d'enseignement, et qui se font en synergie avec les laboratoires de l'école. De fait, les élèves-ingénieurs ESPCI, possèdent une culture générale scientifique pluridisciplinaire couplée à un sens pratique hors du commun.

RÉGIS ROSMADE : Il s'agit d'une singularité dans le paysage français de la formation d'ingénieur, qui coïncide avec celle de toutes les grandes universités dans le monde. Notre modèle est très apprécié dans les communautés industrielles et académiques.

ET VOUS PUSSEZ VOS INGÉNIEURS À POURSUIVRE PAR UNE THÈSE ?

VC : Bien sûr, car la formation par la recherche amène naturellement nos étudiants à continuer par une thèse. C'est le cas pour 70% d'entre eux. La thèse donne une expérience unique de la maîtrise d'un projet, c'est

un passeport indispensable pour une carrière académique, mais aussi un dénominateur commun au sein des équipes de recherche internationale des grands groupes industriels. Dans une start-up, c'est l'assurance de la persévérance vers la voie du succès dans un paysage souvent semé d'embûches.

LA RECHERCHE À L'ESPCI A UNE LONGUE TRADITION D'EXCELLENCE...

RR : Nos chercheurs sont répartis dans onze unités de recherche associées au CNRS. La recherche à l'école présente deux spécificités : les sciences fondamentales et appliquées se côtoient et sont indissociables et l'interdisciplinarité y est omniprésente. Notre attractivité internationale nous permet de recruter un nombre élevé de chercheurs permanents de haut niveau, mais aussi d'accueillir chaque année des professeurs invités prestigieux.

QUELLE EST VOTRE STRATÉGIE EN MATIÈRE DE RECHERCHE ?

VC : Nos objectifs stratégiques principaux sont : maintenir et améliorer les conditions de travail de nos équipes de recherche ; la rénovation totale de l'ESPCI est la pièce maîtresse de cette stratégie et

la mise en place de plate-formes d'équipements mi-lourds mutualisés la complète. D'autre part, le recrutement des doctorants doit être mieux organisé et mutualisé en particulier pour améliorer la sélectivité du recrutement international.

Nous projetons à moyen terme de faire évoluer les thématiques de recherche de l'ESPCI dans deux directions. D'une part la recherche orientée vers la mise en place de l'économie circulaire et plus spécifiquement les énergies renouvelables avec une approche basée sur la physique et la chimie de la matière molle. D'autre part la création d'un *Institute of advanced technologies for health and medicine* en collaboration avec Chimie ParisTech et l'ENS visera à regrouper physiciens, chimistes, biologistes et informaticiens autour de questions posées par la médecine.

L'INNOVATION FAIT AUSSI PARTIE DE L'ADN DE L'ÉCOLE...

RR : Depuis sa création, l'École est naturellement tournée vers l'innovation. Nos chercheurs déposent pas moins de 25 brevets par an.

PC'Up, notre incubateur abrite 13 start-up issues principalement des travaux de recherche de l'École. Nous réfléchissons à l'étape d'après qui consiste à développer un accélérateur de startups leur permettant de se développer après la phase d'incubation.

L'OUVERTURE À L'INTERNATIONAL : UNE PRIORITÉ ?

VC : Bien entendu. Depuis 2016, les étudiants en 3^e année sont tenus d'avoir une expérience de 3 à 6 mois à l'étranger dans des laboratoires de recherche ou des entreprises. Les retours de ces stages sont très positifs. Après la 3A, environ 10% de nos élèves poursuivent une formation à l'étranger. L'École les accompagne pour obtenir des bourses et intégrer des formations prestigieuses comme le MIT, les universités de Georgetown, de Tokyo... D'autre part, le nombre d'étudiants étrangers dans le cycle ingénieur est en augmentation, à 13%.

Enfin, l'École accueille 35% de doctorants et post-doctorants étrangers et recrute de plus en plus de chercheurs étrangers.

L'ESPCI EST UN ÉTABLISSEMENT COMPOSANTE DE L'UNIVERSITÉ PARIS SCIENCES & LETTRES. QU'EST-CE QUE CELA IMPLIQUE ?

RR : L'ESPCI est un des 9 établissements composantes de l'université PSL qui partagent des valeurs communes d'excellence, d'interdisciplinarité et de formation par la recherche. PSL, par sa taille et la réputation de ses

membres nous offre une visibilité internationale de premier ordre. C'est aussi pour nous une opportunité de favoriser des collaborations avec nos voisins.

VC : Sur le plan de la formation, PSL délivre les diplômes et notamment les doctorats. PSL a structuré l'offre de masters en les faisant porter par les établissements associés aux domaines de chaque master. Elle coordonne la création de 18 programmes gradués, dont 4 concernent particulièrement l'ESPCI (programmes gradués de physique, de chimie, de biologie et d'ingénierie).

L'ESPCI PARIS EST EN PLEINE MUTATION. QUELS SONT SES NOUVEAUX DÉFIS ?

RR : Effectivement, l'École se transforme et a devant elle de nombreux défis à relever. D'abord, elle est engagée dans la construction de l'université PSL.

Ensuite, l'ESPCI a commencé sa mue avec la rénovation complète de son campus d'ici fin 2024. Grâce à la Mairie de Paris, l'école bénéficie d'un soutien à hauteur de 176 millions d'euros pour repenser et rénover ses bâtiments, ici, au cœur du 5^e arrondissement, à Paris. C'est une chance inouïe. Les travaux sont réalisés en site occupé. Un certain nombre d'aménagements permettent à l'enseignement et la recherche de se poursuivre. *In fine*, l'École s'installera dans des locaux ultramodernes mis aux normes environnementales et avec un haut degré de sécurité. Tous les laboratoires y compris ceux qui sont hors campus Vauquelin seront regroupés. Ce nouveau bâtiment augmentera fortement l'attractivité de l'ESPCI Paris.

Et puis, je pense que l'école a besoin de devenir plus solide dans le fonctionnement de l'ensemble de ses processus qu'ils concernent la recherche, la formation, l'innovation, mais également les fonctions supports. Pour cela, nous avons engagé une démarche qualité couvrant l'ensemble de nos processus et visant à structurer un cercle vertueux d'amélioration continue, tout en conservant l'agilité qui fait la force de l'École.

AUTRE DÉFI ET NON DES MOINDRES : LE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

VC : Oui, le développement durable est certainement l'enjeu majeur du 21^e siècle. Le développement et la diffusion des savoirs en la matière sont prioritaires pour notre École, qui se doit d'être à la pointe de la recherche et de l'innovation face aux besoins de notre monde en pleine évolution. Chercheurs, enseignants-chercheurs, élèves-ingénieurs et services supports vont donc réfléchir ensemble à cet enjeu de taille. Un focus particulier sera apporté au volet immobilier, car le chantier en cours est une formidable opportunité d'expérimenter des nouveaux modes de fonctionnement et des technologies plus vertes.

L'ÉCOLE DES 6 PRIX NOBEL

EXCELLENCE, OUVERTURE
ET LIBERTÉ SCIENTIFIQUES

CRÉATION DE L'ÉCOLE

1882

1903



LE RADIUM

Pierre (enseignant chercheur) et Marie Curie (chercheuse) découvrent le radium et le polonium dans les laboratoires de l'ESPCI en 1898. Ils obtiennent le prix Nobel de physique pour cette découverte en 1903.

PRIX NOBEL EN 1903



LE LUTÉCIUM

Ainsi nommé en 1907 par Georges Urbain, ingénieur ESPCI, en hommage à la ville de Paris (ancienne Lutèce), le lutécium, dernier élément de la série des lanthanides, compte parmi les terres rares. L'isotope ¹⁷⁷Lu est utilisé en médecine nucléaire dans le traitement de certaines tumeurs.

1907

1910



LE TUBE NÉON

L'invention de l'ingénieur Georges Claude, en 1910, marque les débuts du tube de couleurs fluorescent dans le domaine des enseignes lumineuses. Également inventeur d'un procédé de liquéfaction de l'air, il rachètera même les établissements Paz et Silva (électroménager et publicité lumineuse), acquis ensuite par J.-C. Decaux. Il est le fondateur d'Air Liquide avec son camarade de promotion Paul Delorme.

1911

ISOLATION DU RADIUM PUR PAR MARIE CURIE

PRIX NOBEL EN 1911



LES ANTIOXYGÈNES

Le rubrène est un antioxygène. Il s'agit de substances qui, ajoutées à faible dose à des matières oxydables, sont capables d'empêcher leur dégradation. L'étude des antioxygènes, initiée dans les laboratoires de l'ESPCI et du Collège de France vers 1917, trouve encore aujourd'hui des applications dans la cosmétique et dans les traitements anticancéreux.

1915

1917



LE SONAR

Pendant la Première Guerre mondiale, Paul Langevin (professeur, puis directeur de l'ESPCI de 1925 à 1946), met au point un appareil pour détecter les sous-marins ennemis en utilisant la réflexion des ondes ultrasonores sur ces objets. C'est la naissance du sonar.

Continuité
entre les rayons
ultraviolets et
les rayons X par
Fernand Holweck

1920

1928



LA BOÎTE NOIRE

Alors ingénieur à l'ESPCI, Paul Dubois invente en 1928 un oscillographe permettant d'enregistrer les informations situées dans un avion. Celui-ci est à l'origine de l'enregistreur photographique de vol Hussonot-Beaudouin mis au point en 1939. Il est surnommé "boîte noire" à cause de sa chambre noire photographique.

1935



LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

Frédéric Joliot-Curie (ingénieur ESPCI) et sa femme Irène, fille de Marie Curie, découvrent la radioactivité artificielle en 1934. Une prouesse qui leur vaut le prix Nobel de chimie. Les applications sont nombreuses, notamment dans le domaine de l'imagerie médicale.

PRIX NOBEL EN 1935

Découverte des
méthodes de mesure
originales en optique
et imagerie par
Claude Boccara

1968



LES CHAMBRES À FILS

Georges Charpak révolutionne la détection des particules en 1968 avec la chambre proportionnelle multifils qui remplace le détecteur à bulles, beaucoup moins rapide. Ses détecteurs de particules élémentaires révolutionnent à la fois le traitement informatique des données et l'imagerie médicale. Son invention lui vaut le prix Nobel de physique en 1992.

1980

1962

Invention du terme
'Informatique' par
Philippe Dreyfus

1939

Découverte
du rubrène par
Charles Dufraisse



LA CHIMIE MACRO-MOLÉCULAIRE

Georges Champetier (41^e promotion), est un des initiateurs de la chimie des polymères en France. La notion de macromolécule est d'abord proposée en Allemagne par Hermann Staudinger. Dès 1939, une conférence sur les macromolécules est organisée à l'ESPCI.

LA GASTRONOMIE MOLÉCULAIRE

Discipline scientifique à part entière, la gastronomie moléculaire et physique voit le jour en 1985 grâce à Hervé This, ingénieur ESPCI, et Nicholas Kurti, physicien à Oxford. À l'interface de la physique et de la chimie, ils ont modélisé les réactions chimiques de la cuisine (émulsion, floculation, convection, effets tensio-actifs, etc.).

LA MATIÈRE MOLLE

Sur les traces de Georges Champetier initiateur de la chimie des polymères en France dans les années 1930, Pierre-Gilles de Gennes obtient le prix Nobel de physique en 1991 pour ses recherches sur la matière molle (polymères, cristaux liquides). Dans son éloge, le Comité Nobel fait référence au directeur de l'ESPCI (1976-2002) comme "le Newton de notre temps".

PRIX NOBEL EN 1991

1985

1990

1991

1992

1994

PRIX NOBEL EN 1992

de Georges Charpak pour les chambres proportionnelles multifils

LES MIROIRS À RETOURNEMENT TEMPOREL

Fondateur de l'Institut Langevin Ondes et Images de l'ESPCI Paris, le physicien Mathias Fink met au point, en 1990, une technique de retournement temporel des ondes acoustiques qui trouve notamment des applications en médecine (imagerie médicale, lithotritie, thérapie du cerveau), en détection sous-marine ou en domotique.

Création du laboratoire de neurobiologie

Ouverture au public de l'Espace des sciences

LA BOX INTERNET

Inventeur, chercheur, professeur et créateur d'entreprises, Jacques Lewiner, ancien directeur scientifique de l'ESPCI (1987-2001), lance en 1996 la société Inventel qui fabrique la première box internet pour France Télécom, la Livebox.

1996

Lancement du réseau ParisTech, dont l'ESPCI est un membre fondateur

1999

2001

2009

LA RÉVOLUTION MICROFLUIDIQUE

En 2001, Patrick Tabeling rejoint l'ESPCI et crée le laboratoire Microfluidique, MEMS et Nanostructure. Il prend ensuite la tête de l'Institut Pierre-Gilles de Gennes pour la microfluidique, place forte de cette discipline en Europe dont l'école est partie prenante.

Création de l'Institut Langevin "Ondes et Images"

LES VITRIMÈRES

Ludwik Leibler est un pionnier de la physico-chimie des polymères. En 2011, il invente une nouvelle classe de matériaux organiques : les vitrimères. Ces matériaux polymères inédits, à base de polyesters, sont insolubles, façonnables à volonté et recyclables, tout comme le verre, mais légers, élastiques et résistants.

2011

IDENTIFIER LES NEURONES DE LIEU

En 2015, en implantant de faux souvenirs dans le cerveau d'un rongeur endormi, Karim Benchenane a fait d'une pierre deux coups. Il a expérimenté le concept d'inception, mais aussi et surtout identifié les neurones associés à un lieu dans le cerveau du rongeur.

LE COLLAGE DES TISSUS BIOLOGIQUES

Ludwik Leibler et son équipe ont réussi à accélérer la fermeture et la guérison des plaies profondes. En 2013, son équipe présente un concept de collage des gels et des tissus biologiques grâce à une solution aqueuse de nanoparticules. Cette méthode d'adhésion permet une cicatrisation et une régénération des tissus, sans inflammation ni nécrose.

2013

Naissance de PSL Research University Paris

L'IMAGERIE FONCTIONNELLE ULTRARAPIDE

À l'aide d'ultrasons, Mickael Tanter et l'Institut Langevin mettent au point en 2011 une technique inédite d'imagerie fonctionnelle dont la résolution spatiale et temporelle dépasse toutes les techniques d'imagerie cérébrale utilisées traditionnellement. La technologie est en plus non invasive, et transportable.

Création de l'Institut Pierre-Gilles de Gennes pour la microfluidique

ESPCI ParisTech devient ESPCI Paris

Création du laboratoire IMAP avec l'ENS et le CNRS

Création du premier accélérateur de recherche technologique (ART) Inserm-Ultrasons Biomédicaux

Création du laboratoire Physique pour la Médecine (PhysMed)

Début des travaux du nouveau campus

L'ESPCI RÉNOVÉE

2017

2024

2016

2015

FAITS MARQUANTS

L'ESPCI PARIS EST À UN TOURNANT DE SON HISTOIRE. LIEU DE VIE ET LIEU VIVANT, L'ESPCI PARIS VIT AU RYTHME DE SON CALENDRIER ACADÉMIQUE, DE SES RECHERCHES ET DE SES NOMBREUX ÉVÉNEMENTS QUI PONCTUENT L'ANNÉE.



REMISE DES DIPLÔMES DE LA 132^E PROMOTION



LA WEB-SÉRIE DE L'ESPCI PARIS



ALBA MARCELLAN INTÈGRE L'IUF



SILICON VALLEY COMES TO PARIS

2017

REMISE DES DIPLÔMES DE LA 132^E PROMOTION

La cérémonie s'est tenue dans les salons de la Mairie de Paris le 1^{er} avril, où les ingénieurs ont reçu leur prestigieux diplôme, entourés de leurs familles et amis, mais aussi des enseignants et du personnel de l'école. Une soirée pleine d'émotion témoignant de l'excellente cohésion qui a régné entre les membres de cette promotion.

L'ESPCI PARIS LAURÉATE DE COFUND

Ce programme de financement européen est axé sur trois principes : l'interdisciplinarité, l'intersectorialité et l'internationalité. L'approche de l'ESPCI Paris, qui associe la physique, la chimie

et la biologie, lui a permis cette année-là d'être la première école d'ingénieurs française à participer à ce programme, et ainsi d'accueillir 30 doctorants du monde entier à la rentrée 2018. Leur projet de thèse de trois ans est donc en partie financé par l'Union européenne.

LA WEB-SÉRIE DE L'ESPCI PARIS ; PLUS QU'UNE ÉCOLE, UN ÉTAT D'ESPRIT

C'est dans son ADN : l'ESPCI Paris a toujours promu sa différence dans l'univers des écoles d'ingénieurs. La web-série créée par la direction de la communication avec les élèves reflète les valeurs de l'école : un établissement différent qui s'inscrit dans le monde d'aujourd'hui, attaché à l'innovation et tourné vers l'international.

PC'UP LAURÉAT D'UN PROJET FEDER !

L'incubateur de start-up de l'ESPCI Paris est lauréat d'un cofinancement FEDER (Fonds Européen de Développement Régional). Ce programme de 3 ans permet aux start-up accueillies par PC'up d'aider les chercheurs à valoriser leur recherche, de dynamiser les collaborations entre les jeunes entreprises et les laboratoires de l'école et de l'IPGG (Institut Pierre-Gilles de Gennes), de favoriser les stages et les embauches des diplômés de l'ESPCI et de PSL, et de valoriser l'entrepreneuriat auprès des étudiants.

ALBA MARCELLAN INTÈGRE L'IUF

Maître de conférences à Sorbonne Université et chercheuse au Laboratoire SIMM (Sciences et

Ingénierie de la Matière Molle), Alba Marcellan a été nommée Membre Junior de l'Institut Universitaire de France, qui a pour mission de soutenir les enseignants chercheurs pour le développement de la recherche de haut niveau dans les universités. La chercheuse a ainsi été reçue dans la 27^e promotion de l'IUF lors d'une cérémonie au Collège de France.

SCIENCE : LET IT SPIN

L'ESPCI Paris s'est associée à Solvay et au Social Media Club France pour organiser le 11 décembre une soirée autour des Sciences, avec un débat animé par l'écrivaine et humoriste britannique Timandra Harkness. La discussion, à propos de la place et de l'image de la Science dans notre société, a rassemblé scientifiques, littéraires et industriels, éclairant ainsi le débat de points de vue différents.

OPEN ACCESS WEEK, LE PARTAGE DU SAVOIR

Le 23 octobre a été organisée à l'ESPCI une journée permettant aux chercheurs, étudiants, bibliothécaires et curieux de découvrir le "libre accès". Ils ont ainsi pu s'informer et discuter des enjeux de l'accès ouvert (nouveaux modes d'éditorialisation, outils innovants, aspects juridiques, dépôt des articles en texte intégral dans les plateformes d'auto-archivage).

JEAN-FRANÇOIS JOANNY HONORÉ PAR L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Le physicien et ancien directeur général de l'ESPCI Paris a été récompensé par le prix Ampère le 21 novembre pour ses recherches sur le fonctionnement des cellules et des tissus biologiques. Ses travaux, alliant physique et biologie, gommant les frontières

entre les domaines scientifiques, à l'image de l'enseignement de l'ESPCI, et offrent des perspectives prometteuses en cancérologie.

2018

SILICON VALLEY COMES TO PARIS

Placée sous le haut patronage de M^r Emmanuel Macron, Président de la République, cette première édition de "Silicon Valley comes to Paris" a réuni le 19 janvier à l'IPGG des acteurs importants de la Silicon Valley et le fleuron de la recherche scientifique partageant les mêmes valeurs : la créativité scientifique, le goût de la création d'entreprises, la passion pour la technologie. Parmi les participants, Reid Hoffman, cofondateur de LinkedIn et associé chez Greylock Partners, et Tony Fadell, inventeur de l'iPod, cofondateur de Nest et directeur de Future Shape.



JANINE COSSY, UNE CHIMISTE
À L'ACADÉMIE DES SCIENCES



UN LABO À LA CITÉ,
MÉDIATION SCIENTIFIQUE



EXPOSITION : E(S)PCI 14-19, UNE ÉCOLE
D'INGÉNIEURS DANS LA GRANDE GUERRE



JOSÉ BICO ET
ÉTIENNE REYSSAT



LE NOUVEAU COMITÉ
DE DIRECTION DE L'ESPCI PARIS

SEMAINE ATHENS À L'ESPCI PARIS

La semaine européenne ATHENS (*Advanced Technology Higher Education Network*), un programme d'échanges scientifiques et culturels, a été organisée par l'ESPCI Paris du 17 au 24 mars. L'école a donc accueilli une quarantaine d'étudiants européens, qui ont pu assister à des cours dispensés par l'école : Energie et Innovative Polymer Materials.

UN DOCTORANT DE L'ESPCI EN FINALE DE "MA THÈSE EN 180 SECONDES"

Christophe Kusina, doctorant au laboratoire Chimie Biologie Innovation sous la direction d'Annie Colin de l'ESPCI, s'est présenté à l'édition 2018 de cette compétition qui demande aux candidats d'expliquer leur sujet de recherche pour un auditoire "profane et diversifié", dans une vidéo de 180 secondes. Si le jeune homme n'a pas gagné, il a porté les couleurs de l'école jusqu'en finale.

UN LABO À LA CITÉ, MÉDIATION SCIENTIFIQUE

Du 24 au 29 avril, l'association étudiante de vulgarisation scientifique EPICS (Exposition Publique des Inventions et Créations Scientifiques) s'est associée à la Cité des Sciences. Ont été proposés expériences et ateliers ludiques afin de familiariser le public à la science, autour de trois thématiques : hydrodynamique & microfluidique, ondes et matériaux & matière molle.

JANINE COSSY, UNE CHIMISTE À L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Le 29 Mai 2018, Janine Cossy, professeur de chimie organique à l'ESPCI Paris depuis 1990 a intégré la nouvelle promotion de l'Académie des Sciences, avec 17 autres scientifiques. Elle a publié plus de 450 articles et déposé 13 Brevets au cours de sa carrière jalonnée de récompenses prestigieuses, comme une médaille d'argent du CNRS, ou le prix Jungfleisch de l'Académie des Sciences.

PREMIÈRE PLACE AU CLASSEMENT DE SHANGHAI 2018

L'ESPCI Paris apparaît dans les rangs 301-400 du classement général, malgré sa taille de quelques centaines d'élèves contre plusieurs milliers voire dizaines de milliers pour les premiers établissements. Elle atteint pour autant la première place des écoles d'ingénieurs françaises dans le monde.

L'ISAE-SUPAERO ET L'ESPCI PARIS PROPOSENT UN DOUBLE DIPLÔME

Les deux écoles d'ingénieurs ont signé une convention afin de mettre en place un double diplôme, dans le but de diversifier les profils de leurs étudiants. L'ISAE-SUPAERO offrant des connaissances dans des domaines connexes à l'aéronautique et au spatial, les formations des écoles se complètent et s'accordent puisque toutes deux sont tournées vers un enseignement par et pour la recherche. Les premiers bénéficiaires de cette convention ont intégré le cursus en septembre.

DU MERVEILLEUX CACHÉ DANS LE QUOTIDIEN

Une équipe de physiciens du laboratoire PMMH (Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes) à l'ESPCI a publié un ouvrage qui traite de 35 thèmes variés, allant de la bulle de savon au drapé d'une robe. Le livre explique ces phénomènes élégants, presque poétiques, qui parsèment notre quotidien sans que l'on décèle les mécanismes qui les engendrent. Les quatre auteurs témoignent ainsi de leur engagement dans la diffusion des savoirs.

PARRAINAGE DE LA 137^E PROMOTION

À chaque promotion son parrain, c'est le rituel qui rythme la vie des étudiants de l'ESPCI Paris. Air Liquide a souhaité parrainer la 137^e promotion de l'école, avec un parrain symbolique : David Meneses, directeur développement durable chez Air Liquide et directeur général de la fondation Air Liquide, David Meneses est également un ingénieur ESPCI de la 111^e promotion.

Pendant les trois années de leur cursus, les élèves bénéficieront de relations privilégiées avec le groupe : découverte de métiers, simulations d'entretiens, offres de stage etc.

EXPOSITION : E(S)PCI 14-19, UNE ÉCOLE D'INGÉNIEURS DANS LA GRANDE GUERRE

Durant 3 mois, cette exposition a invité le public à s'immerger dans la vie de l'école et de ses anciens élèves pendant la 1^{re} Guerre Mondiale. Fruit du travail de la Commission Patrimoine de l'école, de l'association ESPCI Alumni et de la direction de la communication, cette exposition traduit la volonté de l'ESPCI Paris de commémorer le centenaire de la Première Guerre Mondiale. À travers une série de panneaux, d'instruments et de documents historiques, cette exposition retrace les inventions et recherches les plus importantes des ingénieurs de l'ESPCI (nom de l'école à cette date) pendant la Grande Guerre : sonar, masques à gaz, télégraphie sans fil...

2019

UNE NOUVELLE DIRECTION

En janvier 2019, Vincent Croquette succède à Jean-François Joanny à la direction de l'ESPCI Paris. Cette même année, Régis Rosmard devient Secrétaire Général de l'établissement et Costantino Creton Directeur de la Recherche.

UNE ÉCOLE D'ÉTÉ POUR LYCÉENNES

Au cœur de l'été, l'école a accueilli pour la première fois une trentaine de lycéennes qui ont été immergées dans un environnement scientifique. Elles ont ainsi pu bénéficier de témoignages de chercheuses, d'ingénieures, dans tous les domaines scientifiques (informatique, physique, chimie, biologie, IA...), des rôles modèles pour encourager les jeunes filles à se tourner vers des carrières scientifiques. Porté par Juliane Klamser, chercheuse au laboratoire Gulliver, le projet sera reconduit et amplifié dans les années à venir.

UN NOUVEAU CAMPUS POUR 2024 À LA POINTE DE LA MODERNITÉ

Les travaux qui ont commencé sur le campus de l'ESPCI Paris verront leur fin en 2024, laissant la place à de nouveaux bâtiments plus fonctionnels et accessibles à tous, à la pointe de la modernité.

Construite en 1882, l'ESPCI a connu des agrandissements dans les années 1930, 1970, puis 1990, sans jamais être entièrement rénovée. Arrivée à un point critique où les équipes scientifiques à l'œuvre comptent leurs mètres carrés et où des travaux de rénovation s'avèreraient trop lourds, la Mairie de Paris a décidé de reconstruire entièrement l'édifice. Un projet ambitieux qui s'achèvera en 2024 et permettra à l'école de devenir la référence internationale des centres de recherche et de formation dans les domaines de la science, de la technologie et de l'innovation.

C'est l'architecte Anne Démians qui a été lauréate du concours international lancé par la Ville de Paris. Son projet propose une vision nouvelle : le bâtiment cœur se poursuit avec le bâtiment cœur à l'intérieur de l'îlot, et se refermant sur lui-même, il connectera les différents espaces en favorisant les rencontres : enseignants, chercheurs, élèves, visiteurs...

Regarder vers l'avenir en s'appuyant sur le passé.

Mais pas question de faire table rase : il s'agit de regarder vers l'avenir en s'appuyant sur le passé. Ainsi la façade historique qui donne sur la place Kastler marquera désormais l'entrée de l'école (actuellement située plus discrètement rue Vauquelin). Cette arche en briques Art déco met déjà en avant, comme le remarque l'architecte en chef des Monuments historiques Pierre-Antoine Gatier, « tout ce qu'on savait faire de mieux dans les années 1930 en termes de décors : des bronzes représentant les grands hommes, des mosaïques figurant des expériences de chimie, des céramiques »... Le projet d'Anne Démians y ajoute juste quelques matériaux afin de marquer le caractère contemporain. Ainsi l'école se modernise sans renier son glorieux passé. D'autres éléments patrimoniaux, comme les boiseries de la bibliothèque, seront démontés et remontés à 80 % et le mobilier de cet espace conservé à 100 %.



© AA Démians

DES BÂTIMENTS ADAPTÉS À LA RECHERCHE DE DEMAIN

Il ne s'agit toutefois pas d'une "simple" reconstruction : le cahier des charges est ambitieux surtout en ce qui concerne les laboratoires. Certaines expériences génèrent des vibrations, d'autres les craignent, certains chercheurs travaillent sur les champs magnétiques alors que d'autres essaient de s'en isoler par tous les moyens... On imagine le casse-tête que constitue la répartition des mètres carrés. Pour faire au mieux, tous les usagers ont été consultés, jusqu'aux élèves qui ont pu s'exprimer via le BDE. Un ensemble de lieux favorisant la rencontre et la sérendipité est prévu, de même que la conservation d'éléments emblématiques. Ainsi le Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux conservera, mis en valeur, l'évier où Paul Langevin menait ses expériences sur le sonar.

Les laboratoires seront reconstruits : adieu les vieilles sorbonnes, des équipements modernes permettront de contrôler les paramètres environnementaux des expériences bien plus finement. Et, bien sûr, le futur bâtiment répondra aux normes énergétiques et environnementales en vigueur (RT 2012, plan Climat, panneaux photovoltaïques, récupération des eaux pluviales, cibles Haute Qualité Environnementale...).

34 540 m²
de surface de plancher
25 000 m²
dédiés à la recherche
3 800 m²
dédiés à l'enseignement

3 900 m²
d'espaces verts
(15 essences
d'arbres différentes
contre seulement
9 avant)
4 429 m²
d'espaces verts
protégés contre
902 m² avant

176 millions d'euros,
financés à **plus de 80 %**
par la Ville de Paris

3

QUESTIONS À

— **LUDOVIC DEHRI** —
Secrétaire général adjoint
et directeur technique

Comment se déroulent les travaux ?

Les neuf bâtiments au cœur de la cour ont été démolis et les injections de béton afin de combler les carrières de la montagne Sainte-Geneviève ont commencé. Si on ajoute le terrassement qui sera effectué afin de prévoir les futurs sous-sols qui comprendront notamment les animaleries et les locaux techniques et logistiques, on obtient une série de travaux préparatoires qui devraient durer un an. Ensuite nous démarrerons la phase 1, qui durera deux ans et conduira à la construction du bâtiment cœur, qui comprendra un rez-de-chaussée, quatre étages et un sous-sol. La phase 2, elle aussi de deux ans, verra apparaître les bâtiments de la couronne, pendant que les laboratoires pourront investir le bâtiment cœur.

La surface va-t-elle augmenter ?

Nous occupons aujourd'hui 26 000 m², tous laboratoires confondus, y compris ceux actuellement hors les murs. Les travaux nous permettront d'atteindre les 34 500 m² de surface de plancher. Mais en termes de surface utile, l'augmentation sera de l'ordre de 10 %, à cause de nombreuses mises aux normes. Nous aurons également un espace vert protégé de 4 429 m².

Quelques laboratoires ont dû déménager pour l'occasion...

En effet, l'Institut Langevin s'est déplacé en 2012, le PMMH s'est divisé entre une partie à l'IPGP et une autre sur le campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université, le laboratoire PhysMed (Physique pour la Médecine) est hébergé à l'Institut de la vision dans le 11^e. L'enseignement aussi a dû être repensé. L'amphi de l'Institut Pierre-Gilles de Gennes est utilisé, plusieurs travaux pratiques sont effectués dans les laboratoires de Chimie ParisTech... ce qui nous mènera à la fin 2024, où tout le monde reviendra sur le site historique de l'ESPCI Paris.



VISITE GUIDÉE

DE LA FUTURE ESPCI PARIS



1- LA FAÇADE

Elle symbolise la passerelle entre l'histoire passée de l'école et celle de demain. Vestiges des années 30, les pans de briques rouge-orangé, soulignés de mosaïques, seront conservés et se prolongeront avec des plaques ondulantes de verre cintré.

2- LE HALL D'ENTRÉE

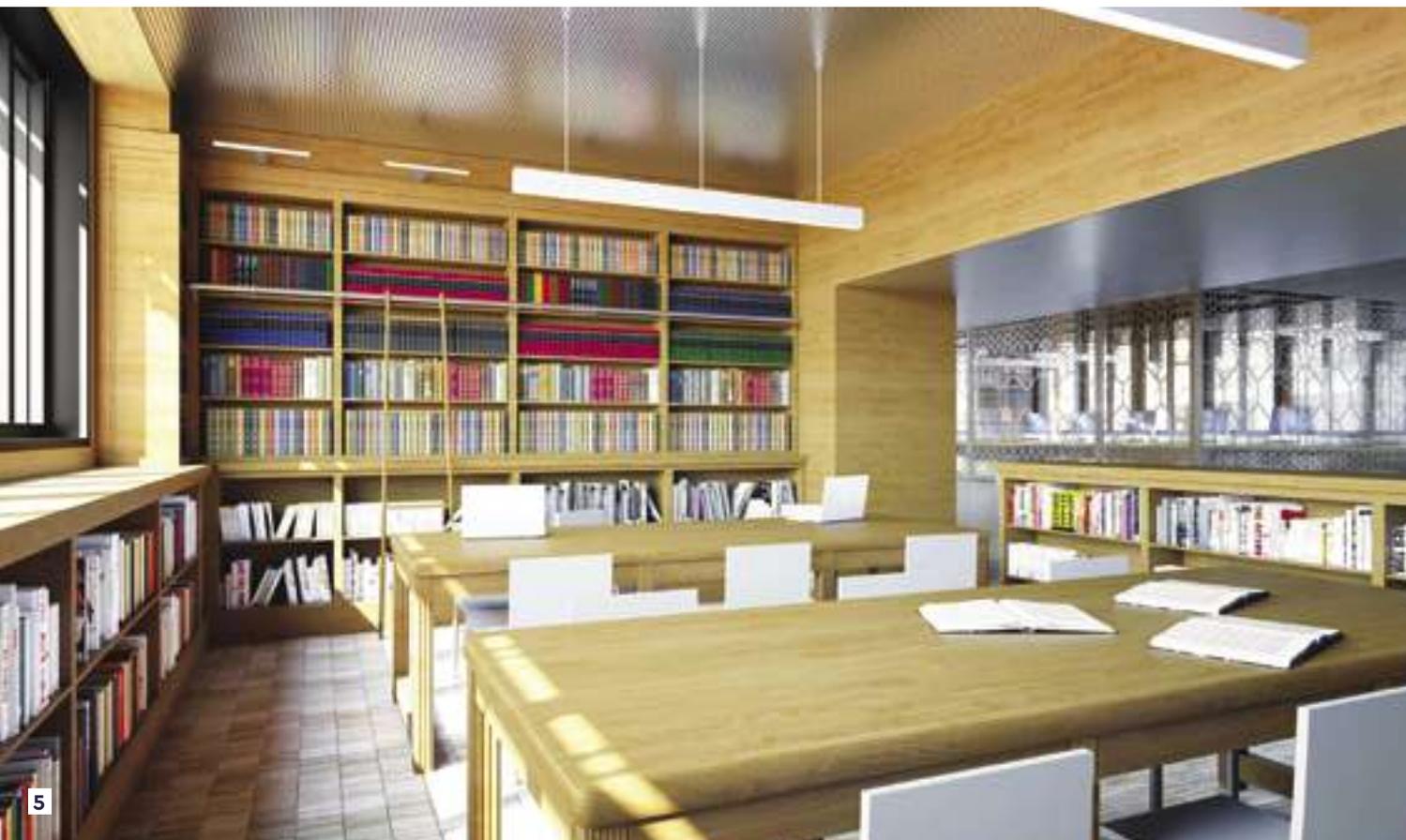
L'entrée de l'école se fera du côté de la place Kastler. Lumineux, ouvert sur l'extérieur, le hall sera emblématique d'un établissement où, loin d'être cloisonnée, la recherche est ouverte sur le monde et soucieuse d'inscrire son savoir dans la société.

3- LES FORUMS

Véritables espaces-soutiens, ces grandes surfaces dotées de bancs permettront des échanges en toute convivialité ainsi que des expositions.

4- LES EXTÉRIEURS

Avec la volonté d'accueillir une biodiversité plus importante, le futur campus verra sa surface végétalisée augmentée de 2000m². Le jardin s'enrichira ainsi de 78 nouveaux arbres. Trois ambiances régneront. Le jardin triangle rectangle, visible depuis la rue Vauquelin, favorisera les arbres fastigiés hauts et étroits. Le patio des chercheurs aura la forme d'une clairière dans un sous-bois enveloppé par les futurs bureaux des chercheurs. Enfin, un potager, accompagné d'un petit verger, alliera l'utile à l'agréable en offrant fruits et légumes de saison.



5



7



6



5



7



8

5- LA BIBLIOTHÈQUE

La future bibliothèque a été repensée pour offrir aux étudiants et aux chercheurs des conditions de travail adéquates. Les rayonnages tout comme les somptueux lambris de chêne clair seront préservés, témoignant du souci de conservation du patrimoine qui anime le projet.

6- UN LABORATOIRE

Finies les sorbonnes ou les hottes en bois, les nouveaux laboratoires assureront un environnement parfaitement sécurisé pour ceux qui y travaillent. Ils seront irrigués par tous les réseaux de fluides spéciaux indispensables à la recherche moderne.

7- LES AMPHITHÉÂTRES

Sobriété et fonctionnalité. Tels pourraient être les mots qui définissent au mieux les futurs amphithéâtres de l'ESPCI Paris. Des lieux de travail et de concentration, équipés à la hauteur de ce que nécessite un enseignement supérieur de qualité aujourd'hui.

8- LE CONNECTEUR

L'escalier central, colonne verticale du futur bâtiment, favorisera les points de connexion entre élèves et chercheurs.

PSL UNE UNIVERSITÉ DE RANG MONDIAL

LES INSTITUTIONS MEMBRES DE PSL

PSL est composée de onze établissements :

Conservatoire National Supérieur d'Art dramatique – PSL, Dauphine
- PSL, École nationale des chartes
- PSL, École nationale supérieure de Chimie de Paris – PSL,
École nationale supérieure des Mines de Paris, École normale supérieure – PSL, École Pratique des Hautes Études – PSL, ESPCI Paris, Observatoire de Paris – PSL, Collège de France, Institut Curie.

CNRS, Inserm, Inria.

www.psl.eu

Située au cœur de Paris, l'Université PSL fait dialoguer tous les domaines du savoir, de l'innovation et de la création. Avec 17 000 étudiants et 2 900 enseignants-chercheurs, elle est une université à taille humaine. Elle figure dans le top 50 mondial des universités et le top 5 des jeunes universités de moins de 50 ans dans les classements THE (Times Higher Education) et QS (Quacquarelli Symonds). PSL est constituée de onze établissements et travaille étroitement avec trois organismes de recherche. Elle s'appuie sur les forces scientifiques de tous ses établissements pour offrir à ses communautés des opportunités inédites dans les champs de la formation, de la recherche, de la valorisation, des partenariats industriels ou académiques nationaux et internationaux.

Pépinière de 28 prix Nobel, 10 médailles Fields, 3 Prix Abel, 50 César, 79 Molière, elle représente près de 10% de la recherche française, totalise plus de 150 ERC depuis sa création. Sa communauté académique tire le meilleur parti du potentiel de ses 140 laboratoires pour bâtir de grands programmes structurants, innovants et interdisciplinaires.

Choisis pour leurs talents dans le monde entier et soigneusement encadrés, les étudiants de PSL ont accès à une offre globale de formation au plus près de la recherche en train de se faire. Qu'ils deviennent artistes, entrepreneurs, chercheurs ou dirigeants, PSL aide ses diplômés à formuler des réponses et solutions qui auront un impact sur notre société. Université publique, PSL promeut la diversité des profils, quels que soient leur statut social, leur genre ou leur origine géographique.

Foyer culturel et artistique majeur, PSL organise tout au long de l'année de nombreux débats, conférences, expositions, spectacles et concerts. Elle noue des partenariats stratégiques avec les plus grandes universités mondiales, telles que le MIT, Stanford, ou Columbia. Lieu d'innovation, elle a signé près de 3 000 partenariats industriels. PSL soutient la valorisation de sa recherche au travers de la création d'une cinquantaine de start-up et du dépôt de près de 70 brevets par an. Elle a lancé son fonds d'amorçage en 2017, le PSL Innovation Fund.

3

QUESTIONS À

ALAIN FUCHS
Président de l'université PSL

Comment caractériseriez-vous PSL ?

Sa première caractéristique est son empan disciplinaire. PSL dispose d'un pôle en sciences dures de rang mondial, d'écoles d'ingénieurs de premier plan, du principal pôle français en sciences humaines et sociales, d'une institution où l'enseignement et la recherche sur les sciences de la décision sont poussés au plus haut niveau, ainsi que d'une école de théâtre parmi les meilleurs au monde. Elle bénéficie en outre du soutien de trois organismes de recherche : le CNRS, l'Inserm et l'Inria. PSL est une université publique. Elle est très compétitive en termes de recherche : elle représente près de 10% de la recherche française et plus de 10% des ERC français.

PSL est une université à taille humaine, ce qui favorise l'interdisciplinarité et garantit à ses étudiants un taux d'encadrement parmi les plus élevés de France. Qu'ils deviennent par la suite chercheurs, artistes, entrepreneurs ou dirigeants, nos étudiants sont formés dès la licence au plus près des savoirs en train de se créer. Ce savoir qu'ils acquièrent se double d'une pleine conscience de leur responsabilité sociale, individuelle et collective. Pour finir, de même que PSL choisit ses étudiants, elle favorise leur diversité : le talent est une chose, puiser dans leur diversité des possibilités de rencontres et d'enrichissement mutuel en est une autre.

Quelle est la place occupée par l'ESPCI Paris au sein de PSL ?

Une place déterminante ! L'ESPCI est l'un des établissements fondateurs de PSL ; elle y porte haut plusieurs de ses caractéristiques : le lien étroit entre recherche fondamentale et innovation, le dialogue entre disciplines et la formation au plus près de la recherche, autant de valeurs promues par Pierre-Gilles de Gennes, directeur de l'ESPCI de 1976 à 2003.

Forte du modèle de l'ESPCI, PSL a créé au cours des cinq dernières années près de 50 start-up, déposé plus de 70 brevets par an et signé près de 3 000 partenariats industriels.

Le pôle ingénierie de PSL qu'elle anime avec Mines ParisTech et Chimie ParisTech ouvre des perspectives scientifiques passionnantes, non seulement parce que ces trois écoles y apportent chacune leur culture et leurs atouts, mais aussi parce qu'elles interagissent avec d'autres établissements de PSL.

Quels sont les grands chantiers de l'université PSL à venir ?

Au sein d'une dynamique globale, je distinguerais deux grands chantiers structurants.

Le premier porte sur les programmes gradués. J'ai dit plus haut que PSL se caractérisait par une articulation étroite de la recherche et de la formation. Il restait à trouver un mode d'organisation capable d'affirmer au mieux notre modèle, de s'adapter aux avancées scientifiques et de rendre notre offre la plus lisible et attractive possible auprès de nos futurs étudiants, nationaux et internationaux. Nous avons opté pour des unités d'action souples, permettant une réorganisation fluide des projets, le dialogue entre les établissements et, le cas échéant, entre les disciplines. Ce chantier s'appuie sur la refonte de la cartographie de nos masters ; il implique tous les laboratoires de PSL et les grands programmes de recherche lancés via le PIA depuis 2011. Ce chantier placera PSL dans une position tout à fait avantageuse pour répondre au prochain appel d'offres sur les écoles universitaires de recherche.

Le second chantier concerne le projet institutionnel de PSL. Le statut de ComUE que nous avons voté en 2015 nous avait été imposé par la loi. Il ne correspondait pas à notre modèle universitaire. Au cours de 2017, nous avons bâti un projet de statuts sur la base d'un accord politique voté par les CA des établissements. Au cours de notre dernière évaluation, l'État nous a indiqués que nous étions sur la bonne voie et nous a encouragés à mettre en place ce projet de statuts. Pour nous aider en ce sens, il a produit une ordonnance ouvrant, sur un périmètre limité, un ensemble de dérogations possibles au code de l'éducation : PSL est donc passé ainsi du statut de ComUE à celui d'établissement de regroupement expérimental au sein duquel ses membres gardent leur personnalité morale et juridique. Au cours de l'année 2019, nous avons procédé au toilettage du projet de statuts de PSL, ainsi que des statuts des établissements membres. Le décret portant création de l'Université PSL a été publié le 5 novembre 2019. L'ESPCI contribue activement à ces deux chantiers déterminants pour l'avenir et le rayonnement de PSL et ses membres à l'international.

ESPCI ALUMNI : UN RELAI ESSENTIEL POUR LE RAYONNEMENT DE L'ÉCOLE

Au-delà de ses missions fondamentales – réunir les alumni, promouvoir les diplômés et soutenir l'École – l'association ESPCI Alumni est également un relai essentiel du rayonnement de l'ESPCI.

L'Association des anciens élèves de l'ESPCI a été fondée par la première promotion d'ingénieurs à leur sortie de l'École en 1885, avec trois objectifs : développer le réseau des diplômés, promouvoir les diplômés et le métier d'ingénieur ESPCI et contribuer au développement de l'École. Elle s'est rebaptisée ESPCI Alumni en 2015, dans une démarche inclusive des diplômés de Master.

Membre de plusieurs fédérations qui décuplent son réseau - PSL Alumni, ParisTech Alumni et Unafic (Union nationale des associations françaises d'ingénieurs chimistes), l'association est présidée depuis 2016 par Sylvain Gilat (107^e promotion, diplômé en 1992). Elle est active auprès des alumni comme auprès des élèves-ingénieurs, qu'elle aide au titre de l'entraide et de la solidarité, pour qu'ils puissent étudier en toute sérénité. Elle consent des prêts d'honneur, par exemple pour les mobilités à l'international, décerne des bourses d'excellence ainsi que des prix de stage industriel. Elle se porte également garant pour le logement de certains étudiants, notamment les étudiants internationaux.

Pour les jeunes diplômés et les alumni en fin de thèse, ESPCI Alumni édite depuis 2013 un CV Book qui harmonise leurs CV et est envoyé aux DRH, chasseurs de têtes et autres recruteurs potentiels (l'association propose même les services d'un photographe professionnel pour pouvoir disposer d'une photo valorisante). Des événements sont régulièrement organisés pour présenter des alumni qui ont fondé une entreprise - comme Michaël Dahan (111^e promotion, diplômé en 1995), président-fondateur de Bookeen, à l'issue de l'assemblée générale de mai 2018. En outre, le Conseil d'administration se déplace chaque année en région pour fédérer la communauté : Lyon (2017), Bordeaux (2018) et Marseille (2019). C'est l'occasion de visiter l'entreprise d'un membre sur place - comme Capsum à Marseille, fondée par Sébastien Bardon (111^e promotion, diplômé en 1995).

RENCONTRES ET PARTAGE

Événement fédérateur pour toute école d'ingénieurs : le gala de l'ESPCI (2018 aux Salons Hoches et 2020 aux Salons France-Amériques). Les membres

s'y retrouvent et côtoient élèves-ingénieurs, enseignants-chercheurs, chercheurs et direction. Cette soirée a initié au fil des ans bien des collaborations fertiles. Dans la même veine, ESPCI Alumni organise chaque année en juin le cocktail de sortie de la promotion en 4^e année, avec les promotions décennaires. Depuis 2018, ESPCI Alumni laisse carte blanche aux élèves-ingénieurs tout en soutenant financièrement l'événement : ils réussissent chaque année à mobiliser leurs aînés en nombre record.

Afin d'être toujours plus réactive quand il s'agit d'aider les élèves-ingénieurs à monter leurs projets, l'association a créé une "commission des initiatives étudiantes" : celle-ci peut statuer rapidement et de manière souveraine sur des demandes de financement allant jusqu'à 500 euros. Un dispositif qui permet au Conseil d'administration de mieux se focaliser pendant ses réunions sur les enjeux stratégiques de l'association.

L'association des alumni travaille également à la visibilité et à la mémoire de l'École : un "Wikipédiathon" (marathon d'édition sur Wikipédia) a été organisé, afin de référencer correctement les ingénieurs et ingénieures ayant déjà une page sur l'encyclopédie en ligne ou qui méritaient d'en avoir une.

Afin de mieux servir les alumni, l'association a migré en 2019 son système informatique vers une nouvelle plateforme professionnelle de gestion de communauté. L'infrastructure informatique espci.org (site web, messagerie électronique, etc.) est hébergée par un nouveau serveur, l'ancien étant devenu obsolète après huit ans de loyaux services. Une migration qui a eu plusieurs conséquences : changement d'adresse IP, nécessité de reconstruire la réputation du serveur, nombreux pourriels, etc.

Enfin, ESPCI Alumni a lancé, depuis fin 2018, une ambitieuse "Campagne entreprise" pour promouvoir la singularité de la formation de l'École auprès des plus hauts dirigeants (PDG et DRH notamment) des principaux employeurs des ingénieurs ESPCI. La chaîne YouTube de l'association donne à voir une dizaine de vidéos de ces rencontres (Saint-Gobain, Arkema, Thales, Air Liquide, EDF, etc.), mutuellement fécondes.



3

QUESTIONS À

= SYLVAIN GILAT =

Président d'ESPCI Alumni

Comment expliquez-vous l'attachement des alumni à leur école ?

En 2018, nous avons reçu le soutien de Lucien Roussel, 102 ans, ingénieur de la 54^e promotion, diplômé en 1939. Je lui ai téléphoné pour le remercier, et il m'a répondu avec émotion « *Je perds la mémoire sur de nombreux sujets, mais l'ESPCI, c'est resté !* ». L'École occupe typiquement une période charnière, structurante, décisive de la vie des alumni. Ce qui se passe pendant leurs années d'études forge cet attachement. À l'ESPCI, les enseignants-chercheurs sont là pour élever (au sens propre) les élèves-ingénieurs et les étudiants, dans une vocation pédagogique authentique et sincère. Certaines de ces rencontres marquent à vie.

Quelles ont été les évolutions ces deux dernières années ?

Ces dernières années, nous avons enregistré une croissance de 25 % du nombre d'alumni qui nous soutiennent financièrement : c'est la première fois dans l'histoire de l'association que nous franchissons le seuil symbolique du millier de diplômés nous soutenant par leur cotisation ou leur don.

Quelles sont les attentes des alumni ?

Les diplômés sont très demandeurs de nouvelles de leur école. Aujourd'hui, deux évolutions les intéressent particulièrement : le projet immobilier et les travaux de reconstruction de l'École, d'une part, et son rôle moteur dans l'université PSL, d'autre part. Après avoir vécu leur vie d'étudiante ou d'étudiant pendant plusieurs années entre ces murs, c'est normal que les alumni soient sensibles à la transformation des bâtiments. Quant à PSL, ils veulent savoir ce que signifie l'intégration dans cet établissement expérimental, les avantages et inconvénients qui vont en découler pour l'École mais aussi pour la reconnaissance de leur diplôme. Nous jouons une fonction de relai importante en leur apportant des éléments de réponse. Avec les élèves-ingénieurs et les étudiants, les alumni sont les ambassadeurs les plus crédibles du rayonnement de l'École.

LE FONDS ESPCI PARIS SOUTENIR LE RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE DE L'ÉCOLE ET SES JEUNES TALENTS

Après huit ans de présidence du Fonds ESPCI, Jacques Lewiner a cédé la place à Philippe Vannier, (PDG de Bull en 2010, puis DG en 2015 suite à l'OPA d'Atos sur Bull). Un changement dans la continuité pour une entité indépendante qui se veut avant tout au service de l'école.

En 2010, Jacques Prost, alors directeur général de l'école, Jean-Louis Missika, adjoint au maire de Paris, et Henri-Dominique Petit, président d'ESPCI Alumni, ont créé un fonds de dotation afin d'accompagner les ambitions de l'ESPCI Paris. Il s'agissait de mobiliser la communauté - alumni et parents - et des partenaires extérieurs pour soutenir le modèle de l'école. À sa tête, un président emblématique : Jacques Lewiner, directeur scientifique de l'école sous Pierre-Gilles de Gennes et "serial entrepreneur".

Le Fonds ESPCI Paris est habilité à recevoir des dons et libéralités d'entreprises, de fondations, de particuliers, et a ainsi attribué aux projets de l'école 5,7 millions d'euros depuis 2011.

Bien qu'indépendant, le Fonds se veut au service de l'école et poursuit quatre objectifs :

- aider l'éclosion des talents ;
- développer la science ;
- agir pour l'éducation ;
- accompagner l'innovation.

LES GRANDES ACTIONS 2017-2019

Les trois dernières années ont été consacrées à relancer le mécénat du Fonds après le transfert de l'activité innovation à PSL. Sous l'impulsion de Corinne Degoutte qui a rejoint le Fonds début 2017 en qualité de directrice du mécénat, il était essentiel de structurer non seulement la collecte en diversifiant les cibles mais également les manières de travailler avec l'École.

Désormais, le Fonds fait un appel à la générosité des alumni et des parents 2 fois par an tout en poursuivant une prospection active auprès de grandes entreprises et fondations. La communication auprès des donateurs a été renforcée. Le Fonds adresse une Lettre aux Donateurs tous les 2 mois et a édité un premier "magazine" illustrant ses actions au cours de ses 6 premières années d'existence. Enfin, le 15 septembre 2018, le Fonds a organisé sa première matinée dédiée aux donateurs. Ce type

d'événement permet à ces derniers de rencontrer les étudiants et les chercheurs qu'ils ont soutenus, et étant donné les réactions très positives, il sera pérennisé dans les années à venir.

Les demandes de soutien font à présent l'objet de fiches projets qui, avant d'être étudiées par le comité de direction du Fonds, sont présentées, pour avis, à l'entité concernée (direction des études, de la recherche, ...) voire la direction générale pour des projets transverses afin d'accompagner l'ESPCI dans ses priorités stratégiques.

Pendant cette période, le Fonds a ainsi poursuivi son soutien aux projets scientifiques en équipe (PSE), contribué au lancement du premier MOOC de l'école, attribué 74 bourses de mobilité afin que les élèves ingénieurs bénéficiaires puissent effectuer leur projet de recherche de 3^e année dans le laboratoire de leur choix à l'étranger, permis le recrutement de 12 excellents étudiants étrangers, accompagné 7 post-doctorants et assuré le cofinancement des 19 doctorants du programme UpToParis sans compter son soutien ponctuel à la diffusion et au rayonnement scientifique de l'école.

TÉMOIGNAGES

"J'ai choisi le programme UpToParis pour son côté international qui m'attire beaucoup et dont j'ai eu la chance de faire partie durant mes études à l'EPFL. Je me sens privilégiée d'appartenir à ce groupe de dix personnes qui viennent de partout dans le monde. J'ai choisi l'ESPCI car c'est une très bonne école d'ingénieurs française, reconnue à l'étranger et qui propose un parcours pluridisciplinaire."

Heiva Le Blay, PhD Student UpToParis, SIMM, soutenue par le Fonds ESPCI Paris



3

QUESTIONS À

— PHILIPPE VANNIER —
Nouveau président du Fonds ESPCI

Quel est votre parcours ?

Je suis de la 99^e promotion de l'école, et j'ai fait mon DEA en génie électronique et instrumentation dans le laboratoire de Jacques Lewiner. J'étais déjà très attiré par l'industrie, et c'était le laboratoire qui m'avait le plus enthousiasmé en termes de créativité. Par la suite, j'ai travaillé pour Michelin, Alcatel Alstom, puis j'ai créé Crescendo Industries, qui s'est développé au travers de différentes structures dont I2E, une société de traitement du signal. En 2010, Crescendo a pris le contrôle de Bull, et c'est à ce moment que Jacques Lewiner m'a recontacté au sujet d'un brevet, et depuis nous avons gardé le contact.

Vous avez été élu président du Fonds ESPCI, à la suite de Jacques Lewiner. Comment vous inscrivez-vous dans cet héritage ?

Dans sa continuité. Quand j'ai revu Jacques en 2010, je l'ai retrouvé tel que je l'avais laissé trente ans plus tôt : toujours cette curiosité hors norme sur tous les sujets, cette soif de découvrir, cette capacité à associer des idées a priori sans aucun lien... Il a toujours parfaitement illustré les propos de Pierre-Gilles de Gennes : « un bon ingénieur est celui capable d'associer des idées qui n'étaient pas faites pour aller ensemble ! » Quand on discute avec lui, il a le don de transformer des choses complexes en évidences logiques. Et il s'intéresse réellement aux gens. Il a fait beaucoup pour le Fonds et pour l'école.

Quels seront les prochaines étapes pour le Fonds

D'abord, bien réaffirmer les objectifs, afin que les ressources du Fonds ne se dispersent pas dans de mauvaises directions. Ensuite, développer la notoriété du Fonds auprès des donateurs potentiels, notamment à l'international. Depuis deux ans il s'est restructuré pour être en capacité de mettre en place ce type de démarche, il faut désormais étendre la collecte en s'appuyant sur nos réseaux.

[2019]

0,8 million d'euros alloués • **70 %** dédiés au programme doctoral UpToParis • **21** élèves-ingénieurs bénéficiaires d'une bourse

[2011-2018]

4,7 millions d'euros alloués • **62 %** affectés à la recherche dont **30** doctorants et post-doc • **95** élèves-ingénieurs bénéficiaires d'une bourse

ENSEIGNEMENT

FORMER DES INGÉNIEURS
D'INNOVATION

UNE FORMATION INTERDISCIPLINAIRE RICHE DE POSSIBILITÉS D'ORIENTATION



Véronique Bellosta,
directrice de l'enseignement, de 2016 à 2019

QUELLES SONT LES SPÉCIFICITÉS DE L'ENSEIGNEMENT À L'ESPCI ?

La première particularité de l'école est de promouvoir l'interdisciplinarité. Notre formation recouvre la physique, la chimie et la biologie, offrant des possibilités d'orientation très larges dans ces trois domaines comme à leurs interfaces. Aborder un problème de physique avec un regard de chimiste ou de biologiste peut ouvrir de nouvelles voies pour le résoudre, c'est une approche très utile pour développer une forte capacité d'innovation. Deuxième spécificité : la quatrième année facultative. 90 % de nos élèves choisissent de poursuivre leur formation après l'obtention de leur diplôme d'ingénieur à la fin de la troisième année. Cette quatrième année peut prendre de multiples formes, se dérouler en France ou à l'étranger, se présenter comme un double diplôme ou, pour la majorité, un master de recherche. Ce qui a du sens puisque 70 % des élèves enchaînent avec une thèse.

COMMENT RÉUSSIR À IMPLIQUER LES ÉLÈVES DANS LA RECHERCHE ?

C'est la troisième spécificité de l'ESPCI : une pédagogie reposant fortement sur l'expérience, avec 50 % du temps d'enseignement à base de travaux pratiques en laboratoire pendant les deux premières années de tronc commun. Pour citer notre nouveau directeur : « *certaines expériences de TP marquent plus que certaines heures de cours !* ». Comme la Commission des titres d'ingénieur nous l'a demandé, nous avons réduit notre volume horaire de cours, tout en conservant cet équilibre entre théorie et pratique. En troisième année, la proportion augmente encore, les étudiants partant effectuer un stage industriel d'un semestre en France ou à l'étranger. Tous les enseignants de l'école sont enseignants-chercheurs ou chercheurs, et chaque professeur fraîchement arrivé a pour consigne de proposer un nouveau TP, une nouvelle manipulation... Les séances de travaux pratiques ou de tutorats sont autant d'occasions d'échanger avec les élèves sur leurs travaux, de leur communiquer leur passion.

L'ÉCOLE ESSAIE RÉGULIÈREMENT D'INNOVER EN TERMES DE FORMULES D'ENSEIGNEMENT : QUELLES SONT LES DERNIÈRES NOUVEAUTÉS ?

L'École a introduit en 2013 les "projets scientifiques en équipe" – PSE – dont nous sommes très fiers, d'autant que le concept a été tenté ailleurs sans jamais prendre vraiment. Les élèves répartis en trinômes choisissent un projet expérimental sur un thème souvent interdisciplinaire, allant de la physique à la biologie et le mènent de bout en bout. C'est un principe très formateur qui plaît beaucoup aux élèves, et que nous continuons à affiner au fil des ans. Prochainement, nous aimerions qu'à mi-parcours, les élèves présentent leur PSE à des étudiants non scientifiques de PSL, par exemple en sciences humaines et sociales, en lettres, en arts décoratifs, pour discuter des aspects sociétaux, environnementaux, économiques, design... Les préceptorats et les tutorats constituent également une forme d'enseignement à laquelle nous tenons beaucoup. Ils ont été intro-

duits par Pierre-Gilles de Gennes et permettent aux étudiants de participer activement à leur apprentissage. Nous sommes également très satisfaits de nos "super TD", en groupe plus petits, qui ont été mis en place en chimie organique et physique statistique. Nous avons en outre lancé plusieurs classes inversées qui fonctionnent très bien. Enfin un premier MOOC est sorti en 2019.

LES TRAVAUX DE RÉNOVATION DE L'ÉCOLE VONT-ILS POSER PROBLÈME ?

Nous sommes en "mode travaux" depuis 2017 : les emplois du temps ont été refaits pour que les cours n'aient lieu que dans les salles qui perdureront, les TP qui devaient être déménagés dans les laboratoires de Chimie Paris l'ont été, nous utilisons en outre l'amphithéâtre de l'Institut Pierre-Gilles de Gennes et quelques salles prêtées par le collège Pierre Alviset, établissement voisin du nôtre. Être en avance nous a permis d'ajuster nos solutions avant le début effectif des travaux, et désormais tout se déroule sans accroc.

LE NUMÉRIQUE OCCUPE UNE PLACE DE PLUS EN PLUS IMPORTANTE : LES COURS DE L'ÉCOLE EN TIENNENT-ILS COMPTE ?

En effet, on entend sans cesse parler d'intelligence artificielle, de big data, de machine learning... il était indispensable d'accorder de la place à cette évolution majeure. Un recrutement conjoint entre Paris Dauphine, PSL et l'ESPCI a été organisé. Le professeur recruté depuis novembre 2019, spécialiste de machine learning, a entre autre pour mission de réfléchir à une rénovation des enseignements de numérique et d'informatique à l'ESPCI.

LE TRAVAIL EN ÉQUIPE RESTE UN OBJECTIF FORT DE L'ÉCOLE ?

Un objectif essentiel : la quantité d'informations à absorber et de compétences à maîtriser est considérable, un étudiant ne peut y arriver seul. Tout est pensé pour favoriser le travail de groupe. L'école est à taille humaine, il y règne une bonne

ambiance et une véritable entraide. Par exemple, tous les ans les élèves organisent une semaine de prérentrée pour les élèves d'autres origines. C'est une demande qui nous avait été faite en 2014, ils organisent eux-mêmes l'accueil, des cours... et nous avons d'ailleurs pu reconnaître cette implication dans le cadre de la loi sur l'engagement étudiant. Désormais, l'engagement dans les associations, l'aide humanitaire, l'aide à la diversité et, donc, l'aide par les pairs sont valorisés par des crédits ECTS.

Notre but est que chacun trouve sa voie, s'épanouisse dans ce qu'il fait et se prépare au mieux pour ses objectifs futurs, et ils en sont conscients.

LES ÉTUDIANTS SONT TRÈS IMPLIQUÉS DANS L'ORGANISATION DE LEUR CURSUS

Les deux premières années constituent un tronc commun pour tous les étudiants. Nous réfléchissons à l'introduction d'un degré d'individualisation pendant cette période, ainsi qu'à l'ajout de cours de communication écrite et orale, de philosophie des sciences... En troisième année, les élèves choisissent désormais leur dominante à travers leurs unités d'enseignement. À la demande et avec la collaboration active des élèves, nous avons aménagé les emplois du temps pour que le maximum d'options soit accessible à tous. Nous envisageons également de libérer une demi-journée hebdomadaire pour que les étudiants puissent personnaliser leur cursus avec des options, favoriser leur développement personnel à travers des enseignements littéraires, artistiques... Ils savent que la direction de l'école est là pour les aider. Notre but est que chacun trouve sa voie, s'épanouisse dans ce qu'il fait et se prépare au mieux pour ses objectifs futurs, et ils en sont conscients.

LE CURSUS 3+1 : INNOVANT

Leur diplôme d'ingénieur validé en 3 ans, les étudiants de l'ESPCI ont la possibilité d'affiner leur spécialisation ou de s'engager vers un master au cours d'une 4^e année facultative. Une voie qui reçoit les faveurs de 90 % des diplômés.

Le cursus ingénieur de l'ESPCI se construit en trois années éventuellement suivies d'une quatrième. Au cours des deux premières, les élèves suivent un tronc commun d'enseignements fondamentaux en mathématiques, physique, chimie et biologie, notamment complétés par des modules de langue étrangère et de socio-économie. Ils peuvent ainsi découvrir la rigueur des concepts de la physique, la complexité et la variété des sciences du vivant et l'originalité des approches de la chimie. Les travaux pratiques y occupent la moitié du temps, ce qui permet aux élèves-ingénieurs de se familiariser avec un maximum de techniques expérimentales : du spectromètre au chromatographe, de l'optique laser à la microfluidique. Les thématiques enseignées évoluent sans cesse : en 2018, un nouveau cours a ainsi été ajouté en première année sur le développement durable, abordant les sujets du cycle de vie, de l'écoconception... En 2019, la part des sciences humaines, économiques et sociales dans le cursus a été diversifiée et renforcée (communication écrite et orale, économie, droit, gestion...).

Les travaux pratiques occupent la moitié du temps, ce qui permet aux élèves-ingénieurs de se familiariser avec un maximum de techniques expérimentales

Un autre objectif de ces deux premières années est de s'initier au travail collectif. Le "projet scientifique en équipe" (PSE) démarre durant le dernier trimestre de première année et se poursuit sur les deux premiers trimestres de l'année suivante. Les élèves y travaillent en trinôme sur un projet qu'ils choisissent eux-mêmes et mènent de bout en bout. Ils définissent les objectifs, établissent la bibliographie, commandent le matériel, mettent au point les expériences, envisagent l'exploitation des résultats... il est même envisageable de présenter le projet à des étudiants en design pour aller encore plus loin. Le travail peut aller jusqu'à une publication ou un dépôt de brevet. À la fin de l'année, les PSE font chacun l'objet d'une présentation vidéo qui permet de s'initier à la restitu-

tion et la présentation de projet (ces vidéos peuvent être utilisées ultérieurement pour leurs CV en ligne par exemple). Le choix des sujets est très libre : il peut être en lien avec un thème de recherche comme répondre aux besoins d'une association.

UNE TROISIÈME ANNÉE POUR COMMENCER À SE SPÉCIALISER

La spécialisation des élèves-ingénieurs a lieu en troisième année, avec le choix de plusieurs unités d'enseignement qui vont déterminer la dominante de l'élève parmi la chimie, la physico-chimie, la physique ou la biotechnologie. Tous les cours de troisième année sont donnés en anglais, à l'exception des cours d'éthique, récemment introduits. L'année commence par un stage industriel d'un semestre en entreprise. Viennent ensuite quatre mois de cours avancés dédiés à la spécialité choisie, puis un projet de recherche en laboratoire de huit semaines minimum. Une expérience à l'étranger d'au moins 3 mois est désormais obligatoire. Au total, ce sont 28 semaines en stage que passeront les élèves de l'ESPCI au cours de leur scolarité.

Entourés de plus de cinq cents chercheurs, enseignants-chercheurs, post-doc et doctorants répartis dans onze unités de recherche, les élèves sont très accompagnés. L'école organise entre autres des séances de coaching, de coorientation et une aide à la recherche de stage.

UNE QUATRIÈME ANNÉE FACULTATIVE POUR PARFAIRE SA FORMATION

90 % des élèves choisissent de suivre une quatrième année, afin d'approfondir des connaissances et compétences déjà pointues dans des domaines comme la biologie-santé, l'énergie, la mécanique/acoustique, les matériaux, l'environnement, la chimie organique, etc. Cette année prend souvent la forme d'un master 2 de recherche, qui permet de circuler entre les différents établissements de PSL. De nouvelles formations sont en cours de création à ce niveau à PSL sous la forme de programmes gradués.

LE STAGE INDUSTRIEL EN FRANCE OU À L'ÉTRANGER

Le "I" d'ESPCI signifie "industrielles", soulignant la volonté de privilégier les liens entre l'enseignement et l'industrie, et ce au-delà des chaires industrielles et des parrainages de promotion. L'école demande ainsi à ses élèves-ingénieurs d'effectuer un stage industriel d'un semestre en début de troisième année. Les entreprises plébiscitent ces étudiants formés à la transdisciplinarité, à qui la recherche expérimentale en laboratoire est familière.

Les élèves-ingénieurs peuvent également effectuer ce stage dans une entreprise à l'étranger (sachant qu'une expérience en dehors du territoire français au cours de l'année est obligatoire). Près de 45 % des étudiants profitent de cette possibilité, toutes les destinations étant possibles : États-Unis, Japon, Union européenne, Émirats arabes unis, Oman, Canada, Suisse, Chine... ils seront alors amenés à conduire un projet, le plus souvent en R&D, parfois en production.

À l'issue de cette période, les futurs ingénieurs sont évalués selon leur rapport écrit, noté par le parrain de stage, enseignant-chercheur de l'ESPCI, l'appréciation du responsable industriel du stagiaire, la soutenance orale à huis clos devant un jury composé de trois membres, ainsi qu'une enquête socio-économique sur la connaissance de l'entreprise.

DÉMARCHE QUALITÉ

L'école a entrepris de mettre en place une organisation interne fondée sur un même logiciel, permettant de réunir les différents aspects (inscription, planning, gestion de salles...). En termes de recrutement, la démarche européenne HRS4R (Human Resources Strategy for Researchers) est en cours d'installation. Les fondements d'une nouvelle démarche qualité dont les effets de simplification administrative se font déjà sentir !



L'INTERNATIONAL UNE EXPÉRIENCE ENCOURAGÉE

La dimension internationale est un aspect capital dans le monde de la recherche. L'ESPCI met tout en œuvre pour que ses élèves l'acquièrent rapidement, et pour accueillir des élèves d'autres pays.



Acquérir une expérience à l'étranger est essentiel pour un ingénieur. L'ESPCI a rendu obligatoire au moins une expérience internationale longue au cours de la formation. Elle peut prendre la forme d'un double diplôme, d'une expérience académique ou d'un stage en entreprise. La quatrième année facultative représente également une opportunité de suivre un cursus complet de niveau M2 à l'étranger.

Le réseau ParisTech permet de participer au programme Athens (*Advanced Technology High Education Network Socrates*) : une semaine durant la troisième année est libérée pour une formation intensive dans l'une des institutions du réseau international Athens (Cambridge, Zurich, Munich, Milan, Budapest...).

L'ESPCI accueille par ailleurs des étudiants du monde entier, notamment chinois, brésiliens et colombiens dans le cursus. Leur formation commence par six semaines de français intensif, avant d'enchaîner sur les cours du cursus ingénieur. PSL a également mis en place une plateforme, le Welcome Desk, pour les accueillir et organiser des rencontres entre étudiants étrangers des différentes entités de PSL.

Les opportunités de stage à l'étranger ne manquent pas à l'ESPCI : le stage industriel et le projet de recherche de troisième année sont l'occasion pour

tous les élèves de partir plus de trois mois à l'étranger. Beaucoup de diplômés passent l'intégralité de leur quatrième année dans une université étrangère. De nombreux accords d'échange existent : Erasmus, accords avec le MIT, accords de doubles diplômes avec Doshisha (Japon), Polytechnique Montréal, Unicamp (Brésil), Tongji (Chine)...

L'ESPCI reçoit en contrepartie plusieurs étudiants venus de ces mêmes établissements. Si l'école sélectionne les meilleurs, c'est avant tout pour leur donner les moyens de réussir dans un contexte propice à leur épanouissement. Ils sont ainsi encadrés par la direction des études, la direction des relations internationales et un étudiant représentant du bureau des élèves. Les démarches administratives sont simplifiées au maximum afin de laisser à l'élève le temps de se consacrer rapidement à ses études.

Le recrutement des professeurs eux-mêmes ne connaît pas de frontières : en 2018, une professeure de neurobiologie italienne, une maître de conférence en chimie du solide portugaise et quatre attachés temporaires de recherche étrangers sur neuf ont rejoint le personnel de l'ESPCI.



FABRIQUER DES INGÉNIEURS D'INNOVATION DIVERSITÉ ET RICHESSE DES PROFILS

Les étudiants de l'ESPCI sont recrutés sur concours ou admis sur titre. Cette multiplicité des origines favorise la diversité des formations, des cultures et des parcours individuels. Il en résulte des promotions très riches intellectuellement.

Le credo de l'ESPCI : fabriquer des ingénieurs d'innovation plus que d'application, un modèle plébiscité par les industriels interrogés. En privilégiant des promotions de taille restreinte (85 étudiants en 1A), l'école propose un accompagnement personnalisé à chaque élève-ingénieur. Deux tiers sont recrutés sur concours en fin de deuxième année de classes préparatoires aux grandes écoles. Un tiers sont admis sur titre (CPGE MP ou PSI, universitaires L2, DUT, L3) après examen du dossier, des épreuves orales dont un entretien, ou via un interclassement des étudiants des classes préparatoires intégrées de la Fédération Gay-Lussac. Cette dernière, qui regroupe vingt écoles françaises de chimie, peut octroyer chaque année quatre places d'admission à l'ESPCI.

En privilégiant des promotions de taille restreinte (85-100 étudiants), l'école propose un accompagnement personnalisé à chaque élève-ingénieur.

Plusieurs filières permettent notamment à l'école d'accueillir des étudiants internationaux en première et deuxième année (14% en 2019) qui viennent enrichir les promotions par leurs différentes cultures et expériences.

ÉGALITÉ DES CHANCES ET OUVERTURE SOCIALE

L'ESPCI est très engagée en faveur de l'ouverture sociale et de l'égalité des chances : elle a mis en place son propre système, les bourses Joliot, pour soutenir les élèves-ingénieurs en difficultés financières et leur permettre de poursuivre leur cursus le plus sereinement possible (pouvant doubler les aides du Crous). Le Fonds ESPCI aide également les étudiants en finançant des bourses, des projets de troisième année à l'étranger, des échanges... Depuis la rentrée 2018, la CVEC (contribution vie étudiante et de campus) permet également de financer une partie des structures : le Crous en reverse une part à PSL pour financer le logement, la santé, le sport et l'accueil des étudiants étrangers.

Des bourses d'excellence sont décernées en quatrième année par ESPCI Alumni et plusieurs entreprises (Michelin, Total, Saint-Gobain...). ESPCI Alumni accorde en outre des prêts à taux zéro, des cautions, des dons... Un tiers des élèves de l'école bénéficient d'une aide financière.

QUE DEVIENNENT NOS ÉLÈVES-INGÉNIEURS ?

Sa formation fondée sur l'interdisciplinarité permet à l'ingénieur ESPCI de s'adapter à tous les secteurs industriels. Une spécificité plébiscitée par les grandes entreprises, qui ont besoin d'ingénieurs connaissant des concepts différents, capables de les appliquer à des problèmes complexes et de développer de nouvelles manières de penser, de croiser des matières, de trouver de nouveaux points de vue, car c'est de là que peut naître l'innovation.

Que ce soit dans l'industrie chimique, l'énergie, l'aérospatial, le matériel électrique ou l'informatique, les ingénieurs ESPCI sont appréciés pour leur interdisciplinarité et leur grande adaptabilité face aux problèmes posés.



80% des diplômés sont embauchés dans le privé, majoritairement dans le secteur de la R&D. Ils sont en moyenne recrutés un mois après la fin de leurs études avec un salaire annuel brut de 40 400 euros. Cinq ans plus tard, un ingénieur sur trois est basé à l'étranger, avec un salaire moyen de 50 100 euros annuel brut. Un sur trois travaille dans une grande entreprise (plus de 5 000 salariés).

Que ce soit dans l'industrie chimique, l'énergie, l'aérospatial, le matériel électrique ou l'informatique, les ingénieurs ESPCI sont appréciés pour leur interdisciplinarité et leur grande adaptabilité face aux problèmes posés. Les grands groupes comme Saint-Gobain, L'Oréal, Arkema, Airbus, Safran, Total, EDF... ainsi que d'importants organismes de recherche comme le CNRS ou le CEA recrutent les jeunes diplômés ESPCI.

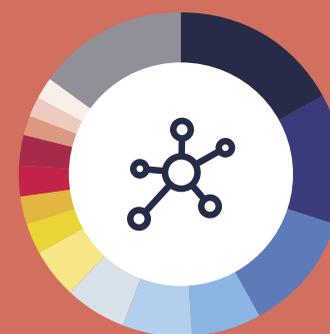
DÉVELOPPER LES RELATIONS AVEC LES ENTREPRISES

Afin de favoriser les rencontres, les échanges et les recrutements rapides, l'ESPCI participe et organise de nombreux événements : visites de sites industriels, présentation d'entreprises au sein de l'école, organisation de tables rondes, simulation d'entretiens d'embauche, participation à des salons, forums, petit déjeuner du Cercle de l'industrie, manifestation de la commission relations entreprises...

La direction des études organise également des séances de coaching, ainsi que des initiations à la relaxation afin d'apprendre à gérer le stress et à mieux se connaître soi-même. Il est d'ailleurs arrivé que de jeunes recrutés exportent ces pratiques dans leurs entreprises.

DES UNITÉS DE RECHERCHE FÉCONDES

L'ESPCI Paris abrite onze unités de recherche de pointe, toutes associées au CNRS et opérant aux interfaces des matières scientifiques fondamentales et des applications industrielles. Elles couvrent un large éventail de domaines, des polymères à la télécommunication, de la nanobiophysique à la synthèse organique, de l'imagerie médicale à la microfluidique. Les chercheurs publient en moyenne plus d'un article par jour dans les meilleures revues internationales, déposent un brevet par semaine et fondent chaque année plusieurs start-up pour valoriser les inventions et découvertes issues de leurs recherches.



CARRIÈRES DES INGÉNIEURS DIPLÔMÉS

17 %	Recherche-développement scientifique
13 %	Sociétés de conseil, bureaux d'études, ingénierie
12 %	Enseignement, recherche
7 %	Industrie automobile, aéronautique, navale, ferroviaire
7 %	Industrie chimique
6 %	Énergie
5 %	Autres activités spécialisées scientifiques et techniques
3 %	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique
3 %	Activités informatiques et services d'information
3 %	Activités financières et d'assurances
3 %	Administration d'état, collectivités territoriales, hospitalière
2 %	Industrie agroalimentaire
2 %	Construction BTP
2 %	Industrie des technologies de l'information et de la communication
15 %	Autres secteurs

RECHERCHE

ACCORDER À NOS CHERCHEURS
LE PLUS DE LIBERTÉ POSSIBLE

ACCOMPAGNER LES JEUNES CHERCHEURS



Costantino Creton,
directeur de la recherche de l'ESPCI Paris

QUELLE EST LA STRATÉGIE DE L'ÉCOLE EN MATIÈRE DE RECHERCHE ?

L'ESPCI est une structure assez petite : le personnel de recherche (permanents, doctorants et post-doctorants) représente 530 personnes. Nous recrutons au meilleur niveau et accordons à nos chercheurs le plus de liberté possible : nos directeurs d'UMR peuvent organiser leur unité à leur guise, d'où des structures internes très différentes. Les laboratoires de l'école couvrent un spectre extrêmement large de domaines d'études : de la physique (matériaux, ondes, mécanique) en passant par la chimie (formulation, synthèse, analyse) jusqu'aux neurosciences (sommeil, mémoire, maladies neurodégénératives) et aux sciences de la vie (imagerie médicale, transport de médicaments, origine de la vie). Surtout il n'y a pas de cloison entre les disciplines, elles peuvent travailler ensemble, et c'est d'ailleurs le cas dans la grande majorité des unités. Nous publions plus de 500 articles par an, environ 3,5 par chercheur, ce qui montre la dynamique des activités de recherche de l'école.

VOUS AVEZ ÉTÉ RÉCEMMENT NOMMÉ DIRECTEUR DE LA RECHERCHE, UN MOMENT IMPORTANT DE VOTRE CARRIÈRE ?

Je suis à l'ESPCI depuis 1993, je suis très attaché à cette école et j'avais envie d'en avoir une vision plus globale. Et aussi de rendre à la communauté un peu de ce qu'elle m'a donné. Je mesure l'ampleur de la tâche, mais je sais que je peux compter sur une équipe de soutien efficace, et qu'il me sera possible de cumuler cet engagement avec mes travaux de recherche. D'une manière générale, je me place dans la continuité des décisions de mon prédécesseur Rémi Carminati.

QUEL EST LE PRINCIPAL ENJEU POUR LA DIRECTION DE LA RECHERCHE ?

Permettre aux jeunes qui arrivent à l'école de trouver leur place. Il faut les aider à s'insérer dans les labos. Nous devons identifier et accompagner les jeunes talents pour qu'ils deviennent les piliers de nos laboratoires. À ce titre le programme doctoral Cofund a été un excellent levier pour recruter de jeunes scientifiques brillants à l'international, dans un système cadré et formel. Ce sera un chantier à poursuivre afin de continuer à renforcer le processus de recrutement des jeunes chercheurs.

Il y a un dialogue permanent à conserver entre recherche fondamentale et appliquée. Le but de l'école n'est pas de devenir un "super incubateur", mais de générer des start-up de haute technicité qui s'appuient sur la recherche fondamentale de haut niveau. Toutes les recherches n'ont pas vocation à devenir des start-up. Nous laissons donc beaucoup de liberté aux chercheurs afin que chacun trouve le créneau où il excelle, qu'il soit fondamental, applicatif, innovateur...

DE NOUVELLES ORIENTATIONS SONT-ELLES EN COURS ?

Le périmètre de la chimie de synthèse a été repensé à travers deux gros changements. Tout d'abord, l'arrivée de l'équipe de Christian Serre, travaillant

sur les matériaux poreux, qui est devenue notre première UMR avec l'École Normale Supérieure. Ensuite, l'équipe de chimie organique du laboratoire CBI a rejoint le laboratoire Matière molle et chimie pour devenir C3M (Chimie moléculaire, macromoléculaire et matériaux). Cette opération, vivement encouragée par le CNRS, permet à l'école de disposer d'une entité unique en France, et peut-être dans le monde : une unité de chimie de synthèse allant de la molécule à la mise en forme des matériaux à grande échelle, jusqu'à l'analyse des propriétés mécaniques, optiques, thermiques...

QUELS AXES OU THÉMATIQUES SOUHAITERIEZ-VOUS DÉVELOPPER ?

Je rejoins notre directeur général sur l'idée de mettre en place de nouvelles thématiques de recherche orientées vers les énergies renouvelables avec une approche basée sur la physique et la chimie de la matière molle. D'autre part le regroupement de physiciens, chimistes, biologistes et informaticiens autour de questions posées par la médecine est un enjeu majeur du futur et capitalise sur les points forts de l'École.

LA THÉORIE A FAIT UNE AVANCÉE REMARQUÉE À L'ÉCOLE...

Mon prédécesseur voulait renforcer les activités théoriques dans les laboratoires de physique, et plusieurs postes ont été ouverts. En 2019, Luca de' Medici, qui travaille au sein du LPEM, a vu son poste pérennisé en professeur de l'ESPCI. Et Laurent Duchemin a été recruté en tant que professeur en mécanique physique théorique au laboratoire PMMH.

LES TRAVAUX DE RÉNOVATION DES LOCAUX VIENNENT DE COMMENCER : QUELLES CONSÉQUENCES AURONT-ILS SUR LA STRATÉGIE DE RECHERCHE ?

L'ESPCI actuelle est le résultat d'une histoire longue, qui a conduit des équipes et des laboratoires à s'éparpiller dans les locaux en fonction des impératifs du moment. Tout rebâtir à neuf est évidemment l'occasion de repenser l'implantation,

de regrouper les équipes de manière intelligente et raisonnée. On "défragmente le disque dur". Comme le centre de recherche évolue sans cesse, nous savons déjà qu'il faudra nous pencher sur les plans du bâtiment un an avant d'y entrer pour intégrer les nouveautés qui se seront mises en place entre-temps. Mais tout ce mouvement redonne aussi une animation scientifique au sein des équipes, il y a un côté dynamisant, très bénéfique.

COMMENT SE SITUE L'ESPCI DANS L'UNIVERSITÉ PARIS SCIENCES ET LETTRES ?

Il s'agit à mon sens d'un des plus gros challenges à venir : assumer notre positionnement au sein d'une université qui, traditionnellement, structure les disciplines en les séparant, alors que l'ESPCI est très ancrée dans l'interdisciplinarité. Notre recherche est très compétitive mais l'université est plus axée sur l'aspect enseignement, ce qui implique pour nous un enjeu de visibilité au sein de la structure. Il y a de la place pour l'ESPCI, j'en suis certain, nous devons juste prendre garde à conserver notre identité pour continuer à recruter de bons étudiants, de bons chercheurs, et garder un environnement de recherche stimulant et dynamique.

COMMENT ENTRETENIR LE SENTIMENT D'APPARTENANCE AU SEIN DE L'ÉCOLE ?

En plus de l'exceptionnelle vitalité scientifique de l'École, la structure est extrêmement agile, et le soutien personnalisé apporté aux chercheurs par les différents services de l'école a pris de l'ampleur ces dernières années. D'autre part, les élèves sont le réel ciment de l'établissement : ils discutent avec les chercheurs de tous les laboratoires, en cours, en TP, pendant leurs stages et souvent ensuite en thèse de doctorat... C'est très différent des autres écoles où enseignement et recherche sont souvent plus cloisonnés. Cela rend l'ESPCI unique.

PRIX ET DISTINCTIONS SCIENTIFIQUES ET ACADÉMIQUES DES CHERCHEURS ESPCI PARIS

2017

- **Marine Bezagu**, Prix Jean Langlois de diffusion de la recherche pour ses travaux vers la chimiothérapie ciblée
- **Équipe de l'ESPGG**, Lauréate du Mariano Gago Awards (catégorie Smart and Simple) pour l'exposition Science Frugale
- **Équipe MECAWET** du laboratoire PMMH, Prix Jean Langlois de la recherche pour ses travaux sur les instabilités et interfaces
- **Antonin Eddi**, Prix Édouard Branly saluant l'originalité et la qualité de sa recherche
- **Mathias Fink**, promu commandeur de la Légion d'honneur
- **Joachim Fleury**, Prix Jean Langlois de diffusion de la recherche pour ses travaux sur l'élaboration de matériaux poreux pour l'analyse de gaz
- **Jean-François Joanny**, Prix Ampère de l'Académie des Sciences pour ses travaux sur le fonctionnement des cellules et des tissus biologiques
- **Valentina Krachmalnicoff**, Médaille de bronze du CNRS
- **Cécile Monteux**, ACS PMSE Young investigator 2017

2018

- **Alexandre Assouline**, Prix Jean Langlois pour ses travaux sur le transport électronique dans les circuits hybrides
- **Janine Cossy**, Elue à l'Académie des Sciences
- **Guillaume Durey**, Prix Jean Langlois pour la diffusion de la recherche pour ses travaux sur les cristaux liquides
- **Équipe de Corine Soulie**, Prix de la recherche Jean Langlois pour le contrôle de l'auto-texturation de films acrylates photopolymérisés
- **Équipe de Brigitte Leridon**, Prix de la recherche Jean Langlois pour la découverte d'un nouveau matériau à constante diélectrique colossale
- **Mathias Fink**, Prix Charpak-Duboussat de l'Académie de Médecine pour ses recherches sur l'imagerie de l'élasticité du corps humain
- **Armelle Keiser**, Bourse L'Oréal-Unesco France for Women in Science
- **Mickaël Pruvost**, Prix Recherche des Trophées des ingénieurs du futur de l'Usine Nouvelle
- **Abdou Rachid Thiam** (ESPCI / ENS), Prix Claude Paoletti (Institut des Sciences Biologiques du CNRS)
- **Daphnée Raffini**, Grand Prix 2018 "Ecosystème territorial" de la Fondation MMA entrepreneurs du futur
- **Nancy Rahbany**, Premier prix "Outstanding Young Scientist" à NFO-15

- **Mickaël Tanter**, élu à l'Académie Européenne des Sciences, lauréat de la plus haute distinction de la Société européenne pour l'imagerie moléculaire (ESMI) à San Sebastian, Espagne
- **Olivier Thouvenin Et Olivier Villemain**, Prix de la Chancellerie, Prix d'excellence en médecine

2019

- **Sophie Bagur**, Bourse L'Oréal-Unesco France for Women in Science
- **Julien Barrier**, Prix Recherche des Trophées des ingénieurs du futur de l'Usine Nouvelle
- **Jacqueline Bloch**, élue à l'Académie des Sciences
- **Annie Colin**, Prix de l'Université Margaret Burbidge Visiting Professorship Award pour l'année académique 2019 - 2020 (UC San Diego)
- **Charlotte Constans**, prix de la chancellerie des universités pour sa thèse sur la modulation de l'activité cérébrale par ultrasons focalisés de faible intensité
- **Janine Cossy**, Membre de l'American Chemical Society (États-Unis), promue au grade d'officier dans l'Ordre national du Mérite, Subvention de la Fondation Bill & Melinda Gates (États-Unis), attribution de la chaire du professeur PC. RAY de l'Indian National Science Academy (INSA, Inde)
- **Teresa Lopez-Leon**, Médaille de bronze du CNRS
- **Guillaume Maimbourg**, prix de la chancellerie des universités pour sa thèse sur la thérapie du cerveau par ultrasons focalisés transcrâniens
- **Pierre-Yves Plaçais**, Médaille de bronze du CNRS

BOURSES ERC

L'ERC, European Research Council, encourage l'excellence scientifique en Europe par le financement de projets de recherche innovants.

APPEL 2017

- **Luca de' Medici**, StrongCoPhy4Energy, Consolidator Grant

APPEL 2018

- **Alexandre Aubry**, ERC Consolidator Grant 2018. Ce projet est soutenu par le CNRS mais est relayé dans un laboratoire de l'ESPCI.
- **Klaus Eyer**, Lauréat d'une bourse ERC (projet funcmab). Ensuite, Klaus Eyer est parti en Suisse à l'ETH Zurich avec sa bourse ERC. L'ESPCI reste un bénéficiaire secondaire car une petite partie du projet est restée à l'ESPCI.

APPEL 2019

- **Sandrine Ithurria**, Lauréate d'une bourse ERC Starting Grant

PRIVILÉGIER L'AGILITÉ ET L'EXCELLENCE

11 UNITÉS DE RECHERCHE



CHIMIE BIOLOGIE INNOVATION [CBI]



7 start-up
230 emplois créées

3

QUESTIONS À

— JÉRÔME BIBETTE —
Directeur de l'UMR CBI

●
Comment associez-vous biologie, chimie et innovation ?

Le laboratoire se tourne de plus en plus vers l'utilisation de la matière molle, la *soft matter science*, pour caractériser le vivant sur le plan individuel. Ces matériaux, de par leur nature, trouvent des applications vers la biologie : ils sont souvent biocompatibles, on peut les texturer, les utiliser pour manipuler des matériaux biologiques sans les traumatiser. On arrive ainsi naturellement à de nouvelles technologies permettant de regarder et d'analyser la biologie à des échelles différentes, en particulier en les encapsulant.

●
Vers quels domaines ces applications vont-elles se diriger dans les prochaines années ?

Nous avons depuis quelque temps une application inattendue : l'agriculture. On pourrait penser que la mise à l'échelle entre la microfluidique et les grands volumes impliqués par le secteur agricole serait difficile, mais une spin-off vient d'être fondée, Kapsera, qui utilise ces techniques et obtient de bons résultats. On est en train d'inventer une agriculture high-tech : la même technologie qui permet de cultiver des foies humains permet désormais de développer de mini-écosystèmes encapsulés qui seront épanchés sur les champs.

●
Le laboratoire CBI est l'un des plus tournés vers les start-up...

C'est un de nos objectifs, au même titre que de publier dans les meilleures revues : nous sommes profondément attachés à la transformation de la science en applications qui bénéficieront à toute la société, en termes de recherche comme d'emplois. Depuis la création de l'UMR, sept entreprises ont été créées, toutes sont des succès et ont généré plusieurs centaines d'emplois qualifiés.

TRAVAILLER CELLULE PAR CELLULE

La microfluidique est encore loin d'avoir dévoilé toutes ses possibilités d'application. Plusieurs équipes du laboratoire CBI sont en train de travailler à son utilisation en biologie, afin d'augmenter considérablement la résolution des analyses cellulaires.

Le procédé permet d'encapsuler dans des micro-gouttelettes de quelques picolitres les cellules d'un tissu, à raison d'une cellule par gouttelette. Ainsi isolée des autres, la cellule peut dévoiler toutes les informations dont elle dispose. Dans le cas du "single CHIP Seq", par exemple, on digère la chromatine présente dans chaque goutte et on ajoute au nucléosome un fragment d'ADN qui fera office d'étiquette, de code-barres pour l'identifier. On peut alors séquencer "à la chaîne" des milliers de cellules à la seconde. Une collaboration avec l'Institut Curie et la start-up HiFiBio est en cours et une publication est prévue pour 2019. Les applications de cette innovation sont multiples : on pourrait notamment effectuer le profil complet de l'hétérogénéité génétique d'une tumeur cancéreuse, par exemple.

À quelques portes de là, la petite équipe de Klaus Eyer travaille pour sa part sur les protéines. En l'occurrence, elle étudie le système immunitaire de la souris, en analysant la production des lymphocytes B d'extraits de rate ou de moelle osseuse. Chaque lymphocyte produit un type d'anticorps bien précis à un moment donné de sa vie. Or une analyse globale du sérum va donner une vision beaucoup trop large des anticorps présents, avec une très mauvaise définition. En étudiant les lym-

phocytes cellule par cellule, il devient possible d'obtenir une image hyperdétaillée de la production d'anticorps de l'échantillon. Le dispositif consiste à encapsuler les cellules dans une matrice de plusieurs milliers de gouttelettes, avant de les analyser très rapidement au microscope. Certes, le débit est inférieur à la méthode "en ligne" du CHIP Seq, environ 50 000 cellules "seulement" par essai, mais le rendement est optimal : il y a très peu de perte d'information par rapport au total des tissus prélevés. Et surtout il est possible d'étudier la dynamique de production des cellules : en analysant de nouveau les cellules après une courte période, on peut suivre les différentes phases de la production d'anticorps.

Cet outil pourrait être utilisé pour l'immunomonitoring (suivi de l'activité du système immunitaire), pour la caractérisation des cellules cancéreuses, mais aussi pour l'optimisation des protocoles de vaccination ou pour le criblage thérapeutique des anticorps... Une start-up pourrait bien voir le jour pour exploiter ce nouvel outil riche en promesses. Au passage, l'équipe d'Eyer garde un œil sur les sciences plus fondamentales, et rêve de percer le mystère du fonctionnement du système immunitaire.

POUR EN SAVOIR PLUS

Single-cell deep phenotyping of IgG-secreting cells for high-resolution immune monitoring, K. Eyer et al., Nat. Biotechnol., oct. 2017.



EN BREF

Kapsera : nourrir les sols avec des microcapsules

Quand on pense aux applications potentielles de la microfluidique, ce sont en général les applications biologiques et médicales qui viennent à l'esprit. Antoine Drevelle et Édouard Duliège ont opté pour une utilisation dans le domaine agricole. En encapsulant des micro-organismes qui nourrissent et protègent les plantes dans des microcapsules d'alginate (substance biosourcée et biodégradable), ils ont ainsi développé un moyen de protéger, améliorer les performances et disperser efficacement ces agents biologiques. En 2018, ils fondent Kapsera, start-up incubée à l'ESPCI. Les applications potentielles sont multiples : lutte contre les ravageurs à l'aide de prédateurs (virus, bactéries, champignons, ...), mais également apport de biostimulants améliorant la disponibilité de nutriments dans le sol (phosphore, azote), phytohormones, micro-algues fertilisantes. Le prototype conçu par la société ne produit pour l'instant que 5 kg de microcapsules par jour, mais un pilote de production devrait multiplier ce chiffre par 20 d'ici l'été 2019, pour une première commercialisation en 2021.

www.kapsera.com

Comprendre et mieux diagnostiquer un mauvais développement du placenta

En collaboration avec l'UMR-S 1139 INSERM-Paris Descartes qui a remarqué que les sucres à la surface de l'hormone hCG constituaient de bons marqueurs d'anomalies du développement du placenta au cours de la grossesse, l'équipe dirigée par Valérie Pichon a développé de nouvelles méthodes d'analyse de la hCG dans le cadre de la thèse de Julien Camperi dirigée par Nathalie Delaunay. La hCG est une protéine complexe qui possède plusieurs sucres dont la composition peut varier et elle existe donc sous de nombreuses formes différentes. Il est donc nécessaire de l'analyser intacte, sans la digérer, afin de savoir quels sucres sont présents sur une forme donnée de hCG ! Le but du laboratoire, spécialisé en chromatographie et électrophorèse, est désormais d'identifier et de caractériser les différentes formes

existantes de hCG, afin de déterminer lesquelles pourraient être corrélées à un mauvais développement du placenta. Les enjeux sont très importants, quand on sait qu'une grossesse sur dix se passe mal, générant un surcoût de 100 000 euros, soit 8 milliards d'euros par an, sans compter les conséquences potentiellement néfastes sur les fœtus.

À LIRE : *An attempt to characterize the human Chorionic Gonadotropin protein by reversed phase liquid chromatography coupled with high-resolution mass spectrometry at the intact levels, J. Camperi, A. Combes, J. Guibourdenche, D. Guillarme, V. Pichon, T. Fournier, N. Delaunay, J. Pharm. Biomed. Anal. 161 (2018) 35-44. First characterizations by capillary electrophoresis of human Chorionic Gonadotropin at the intact level, J. Camperi, B. De Cock, V. Pichon, A. Combes, J. Guibourdenche, T. Fournier, Y. Vander Heyden, D. Mangelings, N. Delaunay, Talanta 193 (2019) 77-86.*

Les origines de la vie en gouttes

Quand on recherche les origines de la vie, on se retrouve rapidement face à une problématique de type "qui est arrivé en premier : l'œuf ou la poule ?" Dans le cas de l'équipe de Philippe Nghe, la question est de savoir comment a pu apparaître le phénomène de réplication des acides nucléiques. Grâce à la microfluidique, ils ont pu reproduire l'expérience de Spiegelman (1965) dans des conditions différentes, c'est-à-dire dans des milieux compartimentés de manière transitoire (ce qui est plausiblement trouvable dans la nature). Au bout de nombreux cycles, on observe que non seulement l'ARN se réplique, mais qu'apparaissent même des brins présentant des erreurs de réplication bénigne, qui se perpétuent et peuvent "évoluer" en mutations utiles ! Il semble même que le système soit peu dépendant de la fonction de sélection choisie. En testant d'autres hypothèses (notamment des réseaux autocatalytiques), ils ont également pu recréer un métabolisme primaire.

À LIRE : *Selection Dynamics in Transient Compartmentalization, A. Blokhuis, D. Lacoste, P. Nghe et L. Peliti, 2018, Phys. Rev. Letters. Coupled Catabolism and Anabolism in Autocatalytic RNA Sets, S. Arsène, S. Ameta, N. Lehman, A. D. Griffiths et P. Nghe, Nucleic Acid Research, 2018.*

CHIMIE MOLÉCULAIRE, MACROMOLÉCULAIRE, MATÉRIAUX [C3M]

3

QUESTIONS À

== MICHEL CLOÛTRE ==
Directeur de l'UMR C3M

Le laboratoire a changé de nom en 2019...

Oui car il a été rejoint par l'équipe de Chimie Moléculaire et Catalyse et est devenu le laboratoire "Chimie Moléculaire, Macromoléculaire, Matériaux". La nouvelle équipe apporte un axe orienté vers la chimie organique de synthèse et la catalyse. Cette opération initiée et soutenue par la direction de l'ESPCI Paris va créer des synergies nouvelles entre les différents pôles de l'unité et permettre une approche multi-échelles allant de la structure moléculaire aux propriétés macroscopiques.

Sur quoi travaillez-vous ?

Nos travaux poursuivent une démarche globale à la croisée de la chimie de synthèse, de la physicochimie de la matière molle pour la formulation, des propriétés physiques des matériaux et des applications. Nous concevons et synthétisons à façon des molécules fonctionnelles et de nouveaux matériaux à partir de concepts de chimie supramoléculaire et de chimie covalente réversible. Nous modifions leurs fonctions pour réaliser des synergies de propriétés, étudions et modélisons leurs propriétés rhéologiques, mécaniques ou optiques, les mettons en forme. Nos recherches ont des applications et des débouchés pratiques comme en témoignent nos nombreux partenariats industriels et le dépôt de brevets.

Quelle est la philosophie du laboratoire ?

Nous cultivons une démarche originale et historique qui associe science fondamentale, innovations et applications. Certains de nos projets sont inspirés de problèmes pratiques stimulés par nos partenaires industriels, d'autres résultent directement de concepts fondamentaux. Cette démarche nous a menés vers de beaux succès comme l'invention des vitrimères dont le développement se poursuit, la mise au point de matériaux pour la pratique médicale, la compréhension à l'échelle microscopique de l'écoulement de certains fluides à seuil utilisés en formulation.

12 chercheurs et
enseignants chercheurs

10 post-doctorants

22 doctorants

12 brevets déposés/
publiés

81 publications

VERRES HYBRIDES COLLOÏDE/POLYMÈRE UN DÉFI POUR LES PHYSICIENS



Les verres polymères et colloïdaux continuent de défier les physiciens. Dans le cas des polymères, l'état vitreux s'obtient en abaissant la température. Dans les suspensions colloïdales, c'est en augmentant la fraction volumique, chaque particule se trouvant piégée dans l'environnement de ses voisines. Les équipes C3M combinent chimie et physique pour élaborer des matériaux vitreux à partir de particules complexes associant les caractéristiques propres aux polymères et aux colloïdes. L'objectif est d'apporter des solutions innovantes pour formuler des produits respectueux de l'environnement, concevoir et synthétiser des matériaux dotés de propriétés originales et faire progresser la compréhension des verres à l'échelle microscopique.

SYNTHÈSE ET FORMULATION

Les chercheurs ont ainsi développé des particules colloïdales qui associent la déformabilité des polymères à l'intégrité structurale des colloïdes (en collaboration avec la société Coatex) : des émulsions constituées d'un cœur liquide protégé par une membrane polymère ou des microréseaux de polymère appelés microgels. Ces derniers se gonflent d'eau sous l'action du pH ou par absorption

de molécules "invitées" telles que des oligomères, des protéines ou des tensio-actifs. En décorant leur surface par des groupes hydrophobes, ils acquièrent des propriétés associatives.

RHÉOLOGIE ET ÉCOULEMENT

La fraction volumique dans une suspension de particules déformables peut dépasser la limite d'empilement compact. Les matériaux obtenus sont solides au repos mais s'écoulent au-delà d'un seuil de contrainte. Cette propriété est mise à profit dans les applications (impression additive, formulations cosmétiques) mais sa compréhension microscopique reste un grand challenge. En collaboration avec l'équipe de Roger Bonnecaze de l'Université du Texas à Austin, un modèle micromécanique a été proposé. Il établit un lien entre le désordre spatio-temporel des trajectoires des particules dans l'écoulement et les propriétés rhéologiques.

DES COULEURS SANS PIGMENTS

En général les suspensions colloïdales ont un aspect laiteux à cause du phénomène de diffusion multiple. En ajustant le degré de réticulation des microgels, nous parvenons à réduire la turbidité et à faire apparaître des couleurs structurales. Celles-ci résultent de l'interaction de la lumière avec la structure des suspensions qui peut être vue comme un arrangement désordonné de particules séparées par une distance caractéristique. Les couleurs de ces suspensions photoniques sont ajustées à volonté en changeant la fraction volumique.

POUR EN SAVOIR PLUS

Versatile Encapsulation Technology Based on Tailored pHResponsive Amphiphilic Polymers: Emulsion Gels and Capsules, C. Locatelli-Champagne, J.-M. Suau, O. Guerret, C. Pellet, M. Cloitre, Langmuir, 2017.

On the universality of the flow properties of soft-particle glasses, T. Liu, F. Khabaz, R. T. Bonnecaze, M. Cloitre, Soft Matter, 2018.

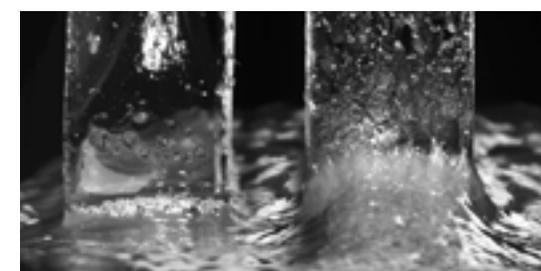
EN BREF

Vitrimère pour applications à haute température

Le polytéréphtalate de butylène (PBT) est un polyester semi-cristallin très utilisé dans de nombreux objets du quotidien : connecteurs électriques, appareils médicaux, ustensiles de cuisine... Il a le défaut de s'écouler au-delà de 230 °C. En collaboration avec la société Sabic, les chercheurs sont parvenus à le transformer en vitrimère par extrusion réactive. Le "PBT vitrimère" possède les propriétés thermoplastiques du PBT en ayant les caractéristiques d'un matériau réticulé qui conserve ses propriétés mécaniques au-delà du point de fusion. Le procédé mis au point n'utilise pas de solvant et est aisément transposable à l'échelle industrielle.

À LIRE : Cross-linking of poly(butylene terephthalate) by reactive extrusion using Zn(II) epoxy-vitrimer chemistry, A. Demongeot, R. Groote, H. Goossens, T. Hoeks, F. Tournilhac, L. Leibler, Macromolecules, 50, 6117-6127, 2017.

Hydrogels pour la médecine



Décollement d'hydrogels d'un foie de porc dans les cas de contact lubrifié (gauche) et adhésif (droite)

Les hydrogels sont des matériaux souples constitués d'un réseau macromoléculaire gonflé par de l'eau. Leur structure et leurs propriétés, qui rappellent celles des tissus biologiques, en font des matériaux biocompatibles intéressants : implants, pansements, substrats pour la délivrance de médicaments ou de cellules. Cependant il est difficile de les fixer à la surface des organes et tissus internes, par exemple lors d'opérations chirurgicales. En étudiant l'adhésion entre des membranes hydrogels et des tissus biologiques, notamment en visualisant la déformation de l'interface gel-tissu, les scientifiques ont montré que le gonflement des hydrogels au contact des tissus vivants crée de l'adhérence et permet la fixation sur les tissus.

À LIRE : Interfacial fluid transport is a key to hydrogel bioadhesion, R. Michel, L. Poirier, Q. van Poelvoorde, J. Legagneux, M. Manassero, L. Corté PNAS, 2019.

Polyéthylène supramoléculaire

En collaboration avec le laboratoire C2P2 de l'Université Claude Bernard à Lyon, une équipe de C3M a synthétisé des chaînes de polyéthylène de faible masse molaire portant aux extrémités des groupes supramoléculaires incompatibles qui se séparent en lamelles et s'associent par des liaisons H. La microstructure résulte de la compétition entre ségrégation et cristallisation. Quand la température de cristallisation des unités supramoléculaires est supérieure à celle du polyéthylène, les chaînes sont confinées à l'état amorphe entre les lamelles. Dans le cas contraire, le polyéthylène cristallise. L'organisation mésoscopique est complètement différente de celle obtenue avec des chaînes enchevêtrées de grande masse molaire.

À LIRE : Lamellar mesoscopic organization of supramolecular polymers: a necessary pre-ordering secondary structure, J. Lacombe, C. Soulié-Ziakovic, Polym. Chem. 8, 5954-5961, 2017. Structural and mechanical properties of supramolecular polyethylenes, J. Lacombe, S. Pearson, F. Pirolet, S. Norsic, F. D'Agosto, C. Boisson, C. Soulié-Ziakovic, Macromolecules, 51, 2630-2640, 2018.

Catalyse métallique et diversité moléculaire

Disposer d'outils efficaces et sélectifs pour explorer "l'espace chimique" revêt un enjeu important dans la découverte de nouveaux médicaments. Plusieurs approches innovantes permettant de transformer ou d'assembler des molécules et d'engendrer de la diversité moléculaire sont inventées au laboratoire : des réactions de couplage catalysées par des métaux courants, fer ou cobalt, pour fonctionnaliser des hétérocycles azotés ; l'activation de liaisons C-H pour accéder à une diversité de macrocycles qui constituent une classe prometteuse de composés encore sous-exploitée en chimie médicinale. Ces recherches ont été menées avec plusieurs partenaires industriels.

À LIRE : Cobalt-catalyzed cross-coupling of bromoamides with Grignard reagents, E. Barde, A. Guérinot, J. Cossy, Org. Lett. 2017, 19, 6068-6071. Rhodium(III)-catalyzed C-H activation/heterocyclization as a macrocyclization strategy. Synthesis of macrocyclic pyridones, J.-P. Krieger, D. Lesuisse, G. Ricci, M.-A. Perrin, C. Meyer, J. Cossy, Org. Lett. 2017, 19, 2706-2709.

GULLIVER

3

QUESTIONS À

— OLIVIER DAUCHOT —
Directeur de l'UMR Gulliver

45 chercheurs/
doctorants

6 thématiques
de recherche

123 publications
en 2017-2019

D'où vient le terme Gulliver ?

Le héros de Jonathan Swift illustre bien cette notion d'échelles différentes qu'étudient nos équipes : millimétrique (échelle des ondes gravito-capillaires), moléculaire (mécanismes enzymatiques) et micrométrique (colloïdes, microfluidique).

Quels sont vos domaines de recherche ?

Les activités du laboratoire se regroupent autour de quelques thématiques centrales, en particulier l'étude de la matière molle aux interfaces, la programmation physico-chimique et la physique statistique hors équilibre. Ensemble, elles couvrent un large champ de recherches à l'interface de la physique, de la chimie et de la biologie.

Quelle est la philosophie du laboratoire ?

Nos activités de recherche sont principalement de nature fondamentale. Une des particularités du laboratoire est de se composer pour moitié de théoriciens et d'expérimentateurs, qui interagissent quotidiennement sur des thématiques pluridisciplinaires.

Pour autant, les chercheurs du laboratoire sont bien différents de l'image du chercheur enfermé dans sa tour d'ivoire. Ils s'impliquent fortement dans l'enseignement et la formation des élèves ingénieurs. Des projets arts/sciences/vulgarisation sont menés très régulièrement et les échanges internationaux sont nombreux. Enfin, les applications sont plus nombreuses qu'on ne pourrait le croire. Plusieurs chercheurs du laboratoire sont impliqués dans les travaux de start-up et déposent régulièrement des brevets.

LES CALCULATEURS MOLÉCULAIRES LE LANGAGE DU CALCUL CELLULAIRE



Même les plus banales bactéries calculent l'heure, se repèrent dans l'espace, reconnaissent des motifs, analysent et mémorisent les dangers de leur environnement... Le traitement complexe de l'information a lieu à l'échelle la plus fondamentale du vivant, la cellule, à travers des voies purement moléculaires.

Le traitement complexe de l'information a lieu à l'échelle la plus fondamentale du vivant, la cellule, à travers des voies purement moléculaires.

C'est un polymère, l'ADN, qui stocke l'information sous forme d'une séquence de nucléotides, les enzymes la décodent, l'amplifient, la transfèrent et la manipulent. Et des réseaux d'interactions biochimiques canalisent les flux d'information pour faire émerger des fonctions et calculs complexes. Dès lors que l'on maîtrise ces différents éléments, il devient possible de les utiliser artificiellement dans un but informationnel.

Il s'agit donc, désormais, de mettre en place des langages de programmation moléculaire. Par analogie avec le code informatique, ces langages devraient permettre de combiner des modules élémentaires pour réaliser des tâches informationnelles complexes et arbitraires.

L'unité Gulliver a réalisé des prototypes sous forme de mélanges amorphes, mis en place dans quelques microlitres, voire picolitres de solution aqueuse à température constante. Le programme est encodé dans une séquence de brins d'ADN et l'énergie est fournie sous forme de molécules préactivées. On peut ainsi émuler le fonctionnement d'une pendule, le mélange envoyant une pulsation à intervalles réguliers. D'autres fonctionnent comme des GPS moléculaires, capables de se repérer au cœur de gradients chimiques : il est ainsi possible de programmer l'émergence autonome d'une forme.

Sur le plan fondamental, ces approches permettent de mieux comprendre le langage du calcul cellulaire, sa grammaire (les réactions chimiques) et son vocabulaire (les biomolécules, l'ADN...). Mais elles tracent également le chemin vers la fabrication de systèmes chimiques capables de communiquer intelligemment avec leur environnement. Ces calculateurs moléculaires artificiels sont certes lents, et ne remplaceront pas leurs équivalents électroniques dans les domaines où ceux-ci sont employés actuellement... mais dans des domaines comme la biotechnologie, la physique des matériaux, où les signaux d'entrée et de sortie sont eux-mêmes des signaux moléculaires, ils pourraient se révéler d'une grande utilité.

POUR EN SAVOIR PLUS

Scaling up molecular pattern recognition with DNA-based winner-take-all neural networks. K. M. Cherry et L. Qian, Nature, 5, 1, 2018.

Predator-prey molecular ecosystems. T. Fujii et Y. Rondelez, Acs Nano, 7(1), 27-34, 2013.

Synthesis and materialization of a reaction-diffusion French flag pattern. A. S. Zadorin et al., Nature Chemistry, 9(10), 990-996, 2017.

EN BREF

Étude des fluides complexes

Les milieux poreux sont truffés d'interfaces rigides ou souples qui confinent les écoulements à une échelle nanométrique. Joshua D. McGraw, recruté au CNRS en janvier 2018, étudie ces écoulements en recourant à des solutions de polymères, servant de modèles de fluides complexes. Il utilise pour ce faire deux techniques optiques de précision, la fluorescence à réflexion interne totale et la microscopie à interférence en réflexion (RICM). En faisant varier la concentration et la longueur des chaînes de polymères, il va ainsi pouvoir étudier le comportement des fluides proches des interfaces.

À LIRE : *Adsorption-induced slip inhibition for polymer melts on ideal substrates*, M. Ilton, T. Salez, P. D. Fowler, M. Rivetti, M. Aly, M. Benzaquen, J. D. McGraw, E. Raphaël, K. Dalnoki-Veress et O. Bäumchen, *Nature Communications*, 2018.

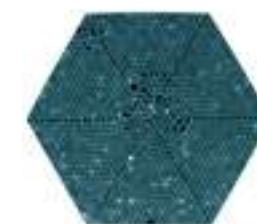
Physique des écoulements en file



Les canaux ioniques qui assurent la filtration dans les reins ou les nanotubes de carbone pressentis pour désaliniser de l'eau de mer sont tellement étroits que les molécules s'y déplacent "en file", sans pouvoir se doubler. Comment réagissent ces systèmes quand plusieurs molécules sont soumises à des forces extérieures, comme des ions sous un champ

électrique ? Vincent Demery a montré que, soumises à des forces faibles, les particules se déplacent ensemble, alors que des forces plus importantes peuvent "casser" les files et modifier radicalement la dynamique des molécules. Ces résultats peuvent être reliés au comportement de gouttes nageuses en canal microfluidique étudiées par Olivier Dauchot et Mathilde Reyssat.

Écoulement spontané d'un cristal actif



Une assemblée de particules autopropulsées (telles des bactéries ou des microrobots) constitue ce que l'on appelle un fluide actif. En alignant leurs déplacements, ces particules peuvent donner naissance à des

mouvements collectifs. Par ailleurs, si on augmente fortement la densité d'un système de particules, on s'attend à former une structure cristalline : ainsi dans la photo ci-dessus, on peut observer la formation d'une structure cristalline hexagonale dans un système de disques autopropulsés. Originalité de ce cristal : les particules y alignent leurs déplacements, en conséquence de quoi le cristal s'écoule spontanément ! Pour ce faire, il s'autofracture et s'autorépare périodiquement le long de lignes de rupture définies par la géométrie.

INSTITUT LANGEVIN

1 LabEx

8 bourses ERC obtenues
par des chercheurs
de l'Institut Langevin
en 10 ans

11 start-up créées

450 emplois créés

238 publications dans
des revues internationales
à comité de lecture

34 nouveaux dépôts
de brevets

3

QUESTIONS À

— ARNAUD TOURIN —
Directeur de l'Institut Langevin

Quelle est la stratégie de l'Institut ?

Elle repose sur trois piliers : promouvoir une approche transdisciplinaire de la physique des ondes ; exploiter la synergie entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée ; transformer les produits de nos recherches en innovations de rupture et assurer leur valorisation, notamment par la création de start-up. Notre dernière-née, Myriade, a été créée en 2017 dans le contexte du projet Tara Oceans. Lauréate au concours d'innovation 2018, elle propose de commercialiser un instrument permettant de détecter et trier des nanoparticules, et en particulier des nano-objets biologiques tels que des virus, des phages ou des vésicules extracellulaires.

Le laboratoire vient d'essaimer...

En effet, l'équipe menée par Mickaël Tanter a pris son autonomie en devenant en janvier 2019 un nouveau laboratoire dont la stratégie est délibérément tournée vers la recherche translationnelle et clinique. Pour ce qui nous concerne, notre objectif premier reste de percer les secrets de la propagation ondulatoire dans les milieux les plus complexes. Puis, à partir des nouveaux concepts qui émergent de cette recherche très fondamentale, nous concevons des instruments originaux pour manipuler les ondes. Nous ne nous interdisons aucun domaine d'application, depuis la médecine et la biologie jusqu'à la géophysique en passant par les télécommunications ou le contrôle non destructif.

Quelles sont les grandes tendances à venir dans vos thèmes de recherche ?

Les nouvelles stratégies que nous proposons pour la microscopie super-résolue ouvrent la voie à des applications en biologie cellulaire ; la déclinaison aux différents types d'onde d'une approche originale d'imagerie en milieux complexes, dite matricielle, offre de belles perspectives dans des domaines aussi variés que l'échographie, la Tomographie Optique Cohérente ou l'imagerie volcanique. La compréhension profonde de l'effet des corrélations du désordre sur la propagation d'une onde jette les bases d'une véritable "ingénierie du désordre" au carrefour de la physique ondulatoire et de la science des matériaux.

DE LA PHYSIQUE FONDAMENTALE À L'INNOVATION !



L'originalité de l'Institut Langevin est d'exploiter les profondes synergies entre les différents types d'ondes afin d'apprendre à manipuler celles-ci dans les environnements les plus complexes, et de proposer approches originales et conception de nouveaux instruments pour l'imagerie et la communication. Les ondes concernées couvrent ainsi un spectre très large allant des ondes mécaniques (acoustiques, sismiques et vagues à la surface de l'eau) aux ondes optiques (infrarouges et visibles) en passant par les ondes électromagnétiques (radiofréquences, micro-ondes, rayonnements térahertz). Ce mariage de compétences présente un double intérêt : les nouvelles idées peuvent être rapidement testées pour un type particulier d'ondes (par exemple, les ultrasons) avant d'être transposées à un autre (par exemple, en optique) ; et de nouvelles modalités d'imagerie combinant deux ondes différentes peuvent être développées, une onde fournissant le contraste de l'image, l'autre gouvernant sa résolution, dans une approche baptisée "imagerie multi-ondes".

Innovier en s'appuyant sur une recherche fondamentale d'excellence est au cœur de la stratégie de l'Institut Langevin. L'enjeu est d'assurer un transfert efficace des connaissances issues de la recherche fondamentale vers le monde socio-économique. À cette fin, un "pôle innovation" dédié a été créé au sein de l'Institut grâce au financement du LabEx

Innovier en s'appuyant sur une recherche fondamentale d'excellence

(Laboratoire d'Excellence) WIFI: une expérience unique dans le paysage des laboratoires publics français. Dirigé par Daphnée Raffini, une juriste, ce pôle s'emploie à insuffler l'esprit d'entreprise chez les chercheurs et doctorants de l'Institut et à les doter des compétences et outils nécessaires pour assurer un transfert technologique efficace. Dans ce contexte, 84 brevets ont été déposés et 6 start-up ont été créées (représentant 86 salariés) depuis 2012 : Greenerwave, Cardiawave, Abbelight, Iconeus, Lighton et Myriade. L'excellence du pôle innovation a été reconnue par le Grand prix "Écosystème territorial" de la fondation MMA des entrepreneurs du futur 2018 et le prix du Club de Paris des Directeurs de l'Innovatin en 2019.

Ce fonctionnement suscite d'ailleurs l'intérêt des pouvoirs publics : deux membres du gouvernement, Frédéric Vidal et Mounir Mahjoubi, respectivement ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et secrétaire d'État auprès du Premier ministre chargé du Numérique, sont venus visiter les locaux en septembre 2017 et y rencontrer les start-uppers.

EN BREF

Découverte d'une corrélation inédite

Quand une lumière cohérente traverse un matériau désordonné, une partie est transmise tandis qu'une autre est réfléchi. Un phénomène d'interférences complexe entre les ondes suivant des chemins différents crée dans les deux cas une figure de "speckle", c'est-à-dire un motif d'intensité d'apparence aléatoire. Pourtant, des travaux récents, initiés par un travail théorique mené à l'Institut Langevin, ont prouvé l'existence d'une corrélation statistique faible entre les figures réfléchies et transmises. L'expérience a été réalisée dans le cadre d'une collaboration avec l'Université d'Exeter. Ce résultat laisse entrevoir la possibilité d'agir sur le speckle transmis à partir de mesures du speckle réfléchi, ce qui pourrait ouvrir la voie à des techniques d'imagerie non invasives.

À LIRE : *Non-Gaussian Correlations between Reflected and Transmitted Intensity Patterns Emerging from Opaque Disordered Media*, I. Starshynov, A. M. Panagui-Diaz, N. Fayard, A. Goetschy, R. Pierrat, R. Carminati et J. Bertolotti, *Physical Review X* 8, 021041, 2018.

L'holographie rentre dans l'ère nano

Les chercheurs de l'Institut Langevin ont été capables de réaliser la reconstruction holographique en trois dimensions du champ diffusé par la pointe d'un microscope optique de champ proche (SNOM) couplée avec l'environnement. Le principe repose sur la rétropropagation numérique du champ électromagnétique qu'une nanosource de lumière émet en direction d'une caméra lorsqu'elle se trouve dans un environnement donné. Il s'agit d'une première dans le domaine de la microscopie de champ proche qui ouvre d'importantes perspectives, d'une part pour mieux comprendre l'interaction lumière/

matière aux nano-échelles et, d'autre part, pour sonder la propagation des ondes au sein de matériaux complexes multidiffusants. Ce travail, financé par le LabEx WIFI, est le fruit d'une collaboration entre l'Institut Langevin et l'Institut de la Vision (Sorbonne Université). Nancy Rahbany a obtenu le prix "Outstanding Young Scientist" lors de la 15^e Conférence internationale sur l'optique de champ proche et la nanophotonique pour ce travail effectué pendant son post-doctorat à l'Institut Langevin.

À LIRE : *One-Shot Measurement of the Three-Dimensional Electromagnetic Field Scattered by a Subwavelength Aperture Tip Coupled to the Environment*, N. Rahbany, I. Izeddin, V. Krachmalnicoff, R. Carminati, G. Tessier et Y. De Wilde, *ACS Photonics* 5, n° 4 : 1539-1545, 2018.

Sismocardiographie

Les chercheurs de l'Institut ont développé une caméra ultrasonore permettant de mesurer à distance les mouvements du thorax et de l'abdomen d'un individu. Cette caméra pourrait offrir une alternative au spiromètre, ce dispositif dans lequel soufflent les patients pour déterminer le débit d'air expiré. La sensibilité de cette caméra est telle qu'elle donne également accès aux battements cardiaques. Une zone relativement large (30 × 40 cm environ) peut ainsi être cartographiée avec un taux d'échantillonnage de plusieurs centaines d'hertz. Ce nouveau dispositif de sismocardiographie a été testé sur huit patients sains volontaires.

À LIRE : *Airborne ultrasound surface motion camera: Application to seismocardiography*, P. Shirkovskiy, A. Laurin, N. Jeger-Madiot, D. Chapelle, M. Fink et R. K. Ing, *Applied Physics Letters* 112, n° 21, 2018.

INSTITUT DES MATÉRIAUX POREUX [IMAP]



3

QUESTIONS À

— CHRISTIAN SERRE —
Directeur de l'IMAP

Quelle est l'origine de ce nouveau laboratoire ?

Nous étions à l'origine une équipe de recherche située à l'Institut Lavoisier, à l'université Versailles-Saint-Quentin, et nous avons créé cette nouvelle UMR avec le soutien de PSL et du CNRS en septembre 2016. C'est la seule unité mixte à ce jour entre l'ENS, l'ESPCI Paris et le CNRS.

Pourquoi avoir choisi l'ESPCI ?

Au-delà de la forte densité de chercheurs de haut niveau que l'on trouve sur le site, l'objectif était de développer le potentiel applicatif de nos solides poreux en les combinant avec d'autres expertises ou matériaux disponibles à l'ESPCI. Nous sommes des chimistes des matériaux, avec comme spécialité les solides poreux cristallisés. Nous les créons en vue d'applications à fort intérêt sociétal, dans l'environnement, l'énergie, la santé... Or ici on trouve des équipes de renom qui travaillent le plus souvent en forte interaction avec le tissu socioéconomique en s'appuyant sur des matériaux et/ou procédés aux propriétés complémentaires des nôtres, par exemple les polymères -gels-, les matériaux inorganiques -quantum dots ou oxydes-, la détection -à Langevin-, la physique pour la médecine -à PhysMed-, la séparation chromatographique, la récupération d'énergie etc... C'est donc un environnement idéal pour collaborer et développer ensemble de nouveaux composites, dispositifs ou procédés innovants etc... En outre en arrivant ici nous avons encore accru notre visibilité. Nous recevons déjà plus de demandes d'étudiants brillants qu'avant, notamment de l'ESPCI ou de PSL, mais aussi de l'étranger avec des étudiants qui le plus souvent viennent avec leur financement.

Quelle est la composition du laboratoire ?

Nous sommes maintenant neuf permanents : trois chercheurs, un ingénieur et une technicienne CNRS, une maître de conférences et un assistant-ingénieur ENS, une maître de conférences ESPCI et une professeure de Versailles-Saint-Quentin (à temps partiel). Nous accueillons environ une vingtaine d'étudiants en thèse et de post-docs. Pour l'instant nos locaux (ESPCI et ENS) sont un peu exigus et très dispersés, mais la situation s'améliorera une fois le nouveau bâtiment construit à l'ESPCI et suite à d'importants travaux prévus à l'ENS.

20 brevets

2 licences avec la société américaine Framergy

25 publications en 2018 (dont Nature Energy, Nature Communications, JACS, ACIE, Adv. Matter...)

UNE STABILITÉ CHIMIQUE EN GUISE DE SIGNATURE



UNE MULTITUDE D'APPLICATIONS

Quand on évoque les solides poreux, on pense généralement aux charbons actifs, structures amorphes présentant des micro et mésopores, ou aux zéolithes, des aluminosilicates microporeux cristallisés utilisés classiquement dans des réactions de catalyse de type craquage du pétrole. Les solides développés par l'Institut des Matériaux poreux de Paris (IMAP), appelés communément Metal Organic Frameworks ou MOFs, se situent quelque part entre les deux : ils comportent une partie minérale et une partie organique, sont ordonnés et possèdent une porosité importante, micro ou méso-poreuse. Cette chimie est assez récente, et a pris véritablement son essor à la fin des années 1990, et reste actuellement très active sur le plan international : dans le domaine des matériaux, en termes de nombres de publications, cela se situe juste après les matériaux 2D de type Graphène. Désormais, cette chimie est suffisamment mature pour concevoir ces matériaux à façon : en variant les compositions et les structures, on peut les rendre très hydrophiles, hydrophobes, varier la tailles des pores, obtenir des propriétés acides, redox, luminescentes, moduler la taille des particules, les mettre en forme et à l'échelle... Et il est relativement aisé de combiner ces poudres à d'autres matériaux (polymères, nanoparticules inorganiques...) pour améliorer leurs propriétés ou leur mise en forme.

L'IMAP se distingue des autres équipes travaillant dans ce domaine de par le monde par l'accent qu'il met sur la stabilité chimique des MOFs qu'il fabrique. Cela rend la découverte de nouveaux solides plus ardue tant cette contrainte oblige à s'attaquer à des chimies plus difficiles à maîtriser, mais une fois les bons solides obtenus, cela ouvre beaucoup plus de possibilités sur le plan applicatif. De nombreux domaines sont concernés, que ce soit l'énergie, avec la récupération de chaleur perdue (ex : dans l'habitat, dans l'industrie), la conduction protonique avec les membranes des piles à combustible (notamment pour remplacer le Nafion, cher et peu stable), le domaine biomédical, avec la libération retard de principes actifs (en complément des liposomes ou nanoparticules de polymères, qui ne sont pas adaptés à tous les principes actifs), ou dans l'environnement, avec la capture du CO₂ ou de composés organovolatils.

UNE LOGIQUE DE BREVETS

Une fois caractérisés, le laboratoire cherche à valoriser ses nouveaux matériaux : leur mise à l'échelle en conditions si possibles vertes et leur mise en forme sont étudiées et des tests applicatifs préliminaires sont réalisés au laboratoire pour tester leurs propriétés d'adsorption, la libération contrôlée de médicament, l'énergie... Cela avant d'engager sur les solides les plus prometteurs des collaborations avec des équipes spécialisées dans ces domaines applicatifs. Le plus souvent, un nouveau brevet est déposé soit quand un nouveau matériau potentiellement intéressant est créé soit quand un procédé de synthèse d'un MOF d'intérêt est optimisé (par exemple une synthèse en conditions vertes, et/ou avec un rendement de synthèse optimal) ou une amélioration de performance significative est établie (par exemple pour la capture de l'acide acétique pour la préservation des œuvres d'art, le transfert de chaleur, la catalyse environnementale, ...).

Dans un futur proche, les nouvelles thématiques à explorer ne manquent pas : la valorisation du CO₂ pour le transformer par exemple en méthanol, la nanobiodétection permettant de détecter les molécules uniques à partir de membranes, de nouvelles membranes efficaces pour les batteries et les piles à combustibles, la détection et la dégradation de polluants... Dans tous les cas, cela nécessitera de revenir à la chimie pour découvrir de nouveaux matériaux et/ou optimiser les matériaux existants ou les produire sous forme de composites ou à plus grande échelle.

EN BREF

Sauvegarde du patrimoine ancien

L'acide acétique est un composé volatil issu de l'hydrolyse des papiers, toiles et films anciens à base de cellulose qui accélère leur dégradation. Le sauvetage de ces objets du patrimoine passe donc, entre autres, par la capture de cette molécule sous forme de traces le tout en présence d'humidité, pour laquelle les adsorbants connus (charbons, zéolithes) ne sont pas assez efficaces. Dans ce contexte, l'IMAP a mis au point une série de MOFs hydrophobes mais pas uniquement ; seule une subtile combinaison de taille de pores et de groupements fonctionnels adaptés a permis d'arriver à une meilleure préservation des œuvres anciennes. Ces résultats ont servi de socle au montage d'un projet européen H2020 actuellement en cours associant chimistes, spécialistes de l'adsorption, experts en matériaux composites et leur mise en forme mais aussi des experts en conservation du patrimoine (www.nemosineproject.eu/).

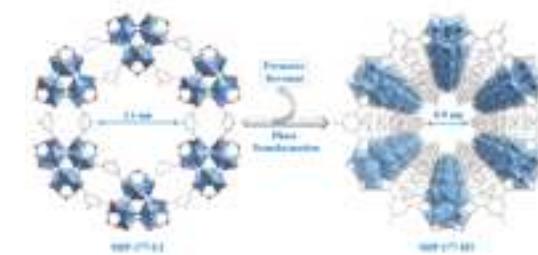
À LIRE : *Metal-organic frameworks for cultural heritage preservation: the case of acetic acid removal*, K. Dedecker et al., *Applied Materials & Interfaces*, 2018.

Les futures applications pour la santé

L'utilisation des MOFs dans le domaine biomédical a rapidement émergé avec des études récentes démontrant les avantages *in vivo* des nanoparticules de MOFs biocompatibles (nanoMOFs) par exemple pour le traitement du cancer, notamment au travers de la charge record de substances actives qu'ils peuvent embarquer, bien souvent très supérieure à la plupart des autres systèmes de libération contrôlée tout en étant biodégradables et non toxiques. Les années à venir s'annoncent très riches en découvertes dans ce domaine. Si le traitement du cancer par encapsulation et libération de principes actifs reste pour l'instant la principale application visée pour les nanoMOFs en biomédecine, d'autres thérapies peuvent être envisagées pour la suite, par exemple sur la libération de gènes non viraux, d'adjuvants vaccinaux, le diagnostic, la détoxification, entre autres.

À LIRE : *Nanoparticles of metal-organic frameworks: on the road to in vivo efficacy in biomedicine*, T. Simon-Yarza, A. Mielcarek, P. Couvreur et C. Serre, *Advanced Materials*, 2018.

De nouveaux matériaux dans le monde de l'énergie



Les matériaux poreux créés par le laboratoire présentent un fort intérêt pour de nombreuses applications dans le domaine de l'énergie. Ainsi, un composé hybride comprenant un cœur d'oxyde de titane (Ti₁₂O₁₅) et un ligand tétracarboxylate, le MIP-177 (MIP pour Matériaux de l'Institut des matériaux poreux de Paris), présente des propriétés de photoconduction inédites. L'introduction d'un polymère conducteur dans ses pores augmente grandement la durée de vie de séparation des charges sous irradiation. Parallèlement, le laboratoire a découvert un adsorbant d'eau plus efficace pour les applications de type réfrigération, le carboxylate de zirconium MIP-200, qui représente une alternative aux adsorbants utilisés sur le marché. Enfin, le laboratoire a découvert un matériau hybride conçu à partir d'acide aminé stable à l'eau, le MIP-202, qui présente une conductivité protonique proche de celle du polymère commercial, le Nafion, mais moins onéreux et plus stable, ce qui est très prometteur pour les piles à combustible. Dans tous les cas, ces solides utilisent des réactifs qui sont simples, verts et bon marché.

À LIRE : *A robust large-pore zirconium carboxylate metal-organic framework for energy-efficient water-sorption-driven refrigeration*, S. Wang et al., *Nature Energy*, 2018. *A phase transformable ultrastable titanium carboxylate framework for photoconduction*, S. Wang et al., *Nature Communications*, 2018.

LABORATOIRE DE PHYSIQUE ET D'ÉTUDE DES MATÉRIAUX [LPEM]

31 chercheurs
6 post-doc
27 doctorants
20 contrats
de recherche
70 articles par an

3

QUESTIONS À

— DIMITRI RODITCHEV —
Directeur du LPEM

Sur quoi porte le travail du laboratoire ?

Le LPEM travaille sur des thématiques très variées liées aux propriétés électroniques des matériaux, que ce soit la supraconductivité, les électrons fortement corrélés, les systèmes quantiques confinés, la photonique, le photovoltaïque, l'électronique hyperfréquence... avec des approches fondamentales ou appliquées, en fonction des cas.

Quels sont vos axes de recherche ?

Nous en avons trois : la quantique, tout d'abord. Nous étudions les hétérostructures : des nano-sandwiches alternant des matériaux différents, qui ont des propriétés remarquables telle la supraconductivité qui apparaît à très basses températures. Ensuite, l'axe des nanomatériaux, où nous nous intéressons à la synthèse et la fonctionnalisation des nano-cristaux de semi-conducteurs de géométrie et de structure variables. Ces nano-cristaux ont des propriétés optiques particulières du visible jusqu'à l'infrarouge. Enfin, il y a un fort axe instrumental, qui utilise les nouveaux matériaux et des concepts d'électromagnétisme pour mettre au point des dispositifs électroniques. Un quatrième axe a émergé récemment, avec l'arrivée d'une équipe de théoriciens. La variété de sa recherche et des nombreuses collaborations interdisciplinaires sont les grands atouts du LPEM.

Vous avez également un projet de nouvelle plateforme ?

Oui, il s'agit du Plateau de Nanotechnologies de l'École (Plateau NanoTech) qui regroupera les moyens d'élaboration, d'observation et de caractérisation de pointe qui ne constituent pas aujourd'hui un ensemble cohérent. On pourra contrôler la composition et la forme des matériaux quantiques au nanomètre, les observer à l'aide des meilleurs microscopes électroniques, en caractériser les propriétés essentielles. La création du NanoTech reflète notre volonté de ne plus accumuler du retard sur d'autres centres de recherches internationaux en nanotechnologies. En même temps le NanoTech jouera un rôle important dans la formation des élèves. Mais il reste encore beaucoup à faire, nous devrions disposer d'une installation prête à fonctionner vers 2023.

DÉCOUVRIR DE NOUVEAUX MATÉRIAUX ET PRÉVOIR LEURS PROPRIÉTÉS



Menée par Luca de' Medici, physicien théoricien, l'équipe qui s'est implantée dans les locaux en mai 2018 est dédiée à la "théorie de la matière condensée" (en particulier la matière solide à la frontière entre un métal et un isolant). Elle constitue désormais la seule équipe théorique dans un laboratoire jusque-là 100% expérimental. Son objectif sera de découvrir de nouveaux matériaux et de prévoir leurs propriétés. Une activité qui exige des calculs très complexes, nécessitant de puissants moyens informatiques.

Couvrir des phénomènes fondamentaux et des applications concrètes.

Luca de' Medici est arrivé à l'ESPCI dans le cadre d'un contrat "Consolidator Grant" du Conseil européen de la recherche. Il a formé une équipe avec plusieurs post-docs et doctorants qui travaillent dans le domaine du calcul et de la prédiction des propriétés remarquables des matériaux quantiques (supraconductivité, thermoélectricité, magnétisme, etc.). Dans ce cadre, il a organisé fin 2017 une conférence internationale à l'ESPCI (ParisEdge 2017) en présence des meilleurs chercheurs au niveau mondial dans le domaine. Le succès de cette première

édition a permis l'organisation d'une seconde fin 2019, elle aussi couronnée de succès.

VOIR LES ATOMES

L'un des équipements phares du laboratoire est désormais opérationnel. Il s'agit d'un appareil de microscopie capable de visualiser des atomes individuels couplé à une expérience de photoémission, l'idée étant d'envoyer de la lumière qui arrache des électrons de la matière, donnant au passage une information importante sur le placement de ces électrons dans le matériau. C'est un équipement unique en son genre, qui ouvre une nouvelle manière d'explorer les propriétés de la matière.

La recherche au laboratoire couvre des phénomènes fondamentaux aussi bien que des applications très concrètes, voire quotidiennes : de la détection d'ondes gravitationnelles et la mécanique quantique à très basses températures jusqu'aux applications industrielles, comme la voiture autonome et la détection des chutes. Et, à l'intersection entre tous ces projets, les chercheurs du LPEM développent également de nouvelles techniques d'imagerie en utilisant des matériaux semi-conducteurs de taille nanométrique (quelques milliers d'atomes), conçus eux-mêmes au LPEM.

EN BREF

La supraconductivité bidimensionnelle

L'étude d'un gaz d'électrons bidimensionnel supraconducteur à l'interface entre deux oxydes isolants (comme LaAlO_3 et SrTiO_3) a suscité beaucoup d'intérêt : les électrons s'y accumulent en effet dans un puits quantique qui s'étend sur quelques nanomètres. En les étudiant à très basse température, l'équipe Phasme a pu mieux comprendre les propriétés supraconductrices dans la limite très diluée où les paires d'électrons sont séparées sur plusieurs dizaines de nanomètres. Au-delà de ces aspects fondamentaux, ces propriétés soulèvent également des perspectives dans le domaine de l'information quantique. Il serait possible de générer des propriétés topologiques, qui protègeraient les phases quantiques des perturbations, ouvrant ainsi la porte à la mise en œuvre de protocoles de calculs quantiques topologiques. La mise en évidence de cette supraconductivité topologique est en cours d'étude au sein du projet européen Quantox, auquel participe le laboratoire.

À LIRE : *Competition between electron pairing and phase coherence in superconducting interfaces*, G. Singh et al., *Nat. Commun.* 9, 407 (2018). *Effect of disorder on superconductivity and Rashba spin-orbit coupling in $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ interfaces*. G. Singh et al., *Phys. Rev. B* 96, 024509 (2017).

Systèmes cœur-couronne

En synthétisant des nanocristaux de semi-conducteurs en deux dimensions, les chercheurs du LPEM ont obtenu des nanoplaquettes aux propriétés optiques d'émission et d'absorption extrêmement bien



définie. En faisant croître un second semi-conducteur sur ce matériau "cœur", ils ont par la suite obtenu des hétérostructures présentant deux émissions : l'une, fine, venant de la couronne, et une seconde, plus large, venant de la recombinaison de la paire électron/trou à l'interface entre les deux semi-conducteurs. Le but est désormais de concevoir des nanoplaquettes avec deux émissions fines mieux séparées, mais également d'étendre la gamme spectrale étudiée en travaillant avec d'autres semi-conducteurs.

À LIRE : *Strongly Confined HgTe 2D Nanoplatelets as Narrow Near-Infrared Emitters*, E. Izquierdo et al., *JACS. Engineering Bicolor Emission in 2D Core/Crown CdSe/CdSe_{1-x}Tex, 2 Nanoplatelet Heterostructures Using Band-Offset Tuning*, M. Dufour et al., *J. of Phys. Chemistry*.

Positionner les voitures autonomes

La problématique du positionnement des véhicules est centrale dans le cas de la voiture autonome. Que ce soit par GPS ou par analyse d'images, les dispositifs actuels ne permettent pas de localiser précisément la voiture dans 100% des cas. L'équipe de Thierry Ditchi et Emmanuel Géron a mis au point un système de transpondeurs à très faible coût, des balises passives qui seraient installées sous les bandes blanches et dialogueraient avec le véhicule émettant des ondes électromagnétiques. Le système est actuellement au point et a fait l'objet d'une thèse. Autre thème de recherche : la localisation des véhicules en partage dans les rues de Paris. Un projet en cours se fonde sur l'installation de transpondeurs, actifs cette fois, dans les rues de la capitale et interagissant avec les vélos, trottinettes et autres voitures en location afin de mieux gérer leur stationnement et d'éviter les accumulations ; à plus long terme, c'est un système de positionnement centimétrique ultra-rapide pour se préparer aux véhicules autonomes en environnement très complexe.

À LIRE : *Système coopératif radiofréquence de positionnement latéral d'un véhicule sur la chaussée*, I. Mohsen, thèse soutenue le 27 avril 2017.

LABORATOIRE PLASTICITÉ DU CERVEAU [LPC]

2 ERC
29 publications
5 équipes de
recherche
4 stations
d'imagerie

3

QUESTIONS À

— THOMAS PREAT —
Directeur du LPC

D'où vient l'unité du laboratoire ?

Même si les différentes équipes ont chacune leur sujet d'études, nous travaillons tous d'une manière ou d'une autre sur la plasticité du cerveau, sur un plan très fondamental, avec un intérêt particulier pour la mémoire : comment elle est générée, comment elle évolue... et sur un plan plus appliqué, afin de mieux comprendre comment fonctionnent les pathologies (troubles du sommeil, maladies dégénératives comme Alzheimer, Parkinson...).

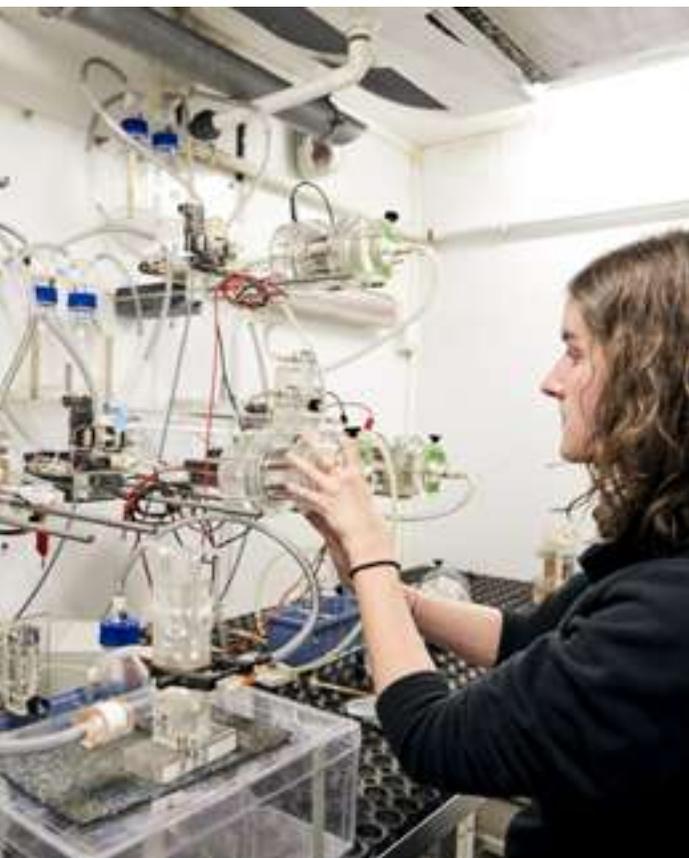
Le LPC s'est récemment étendu : qui sont les nouveaux arrivants ?

Nous accueillons depuis peu Gisella Vetere, professeure de neurobiologie, qui dirige une équipe s'intéressant à la mémoire chez la souris. Au niveau thématique, mon équipe Gènes et Dynamique des Systèmes de Mémoire, a développé depuis deux ans un nouvel axe de recherche sur les interactions entre le stockage de l'énergie et la mémoire. Nous avons obtenu un financement ERC produit quatre publications sur ce projet. Pierre-Yves Plaçais, recruté au CNRS depuis 2013 et fortement impliqué dans ces recherches, partage dorénavant avec moi la direction de cette équipe. Et ce n'est pas fini : nous aimerions recruter une nouvelle équipe en 2019, qui pourrait par exemple s'intéresser à la modélisation de la plasticité. De même nous envisageons de réunir divers équipements de pointe afin de créer une plateforme d'imagerie du cerveau (quatre microscopes confocaux, achat d'un nouveau microscope pour l'imagerie quantitative, miniscope...).

On parle beaucoup d'intelligence artificielle en ce moment : comment s'intègre-t-elle à votre travail ?

C'est une approche qui a le vent en poupe, le gouvernement a débloqué des sommes très importantes pour les recherches sur l'intelligence artificielle. Elle est de plus en plus employée, notamment les techniques de "machine learning" dans les travaux de Karim Benchenane sur le sommeil, en partenariat avec la société Dreem. L'équipe Énergie et Mémoire est également très reconnue dans le domaine des interfaces cerveau/machine.

LA MÉMOIRE ET L'ÉNERGIE CHEZ LA DROSOPHILE



Parmi les centres d'études du LPC les liens entre le métabolisme énergétique et la formation de la mémoire à long terme chez la drosophile ont depuis deux à trois ans acquis une importance toute particulière.

Ainsi l'équipe de Pierre-Yves Plaçais et Thomas Preat a pu déterminer plusieurs liens étroits entre les deux phénomènes. Après avoir observé que la consommation de sucre chez la mouche doublait très tôt dans le processus de consolidation de la mémoire, ils ont mis au point une technique d'imagerie cellulaire in vivo du métabolisme énergétique et ont pu déterminer que l'accroissement du flux d'énergie dans le corps pédonculé, le centre cérébral de la mémoire chez les insectes, était à la fois nécessaire et suffisant pour provoquer la formation de la mémoire à long terme.

Une autre étude a porté sur les priorités énergétiques : on sait qu'en cas de pénurie de nutriments, l'activité du cerveau est considérée comme prioritaire sur celle des organes périphériques pour tout ce qui concerne l'approvisionnement en énergie. Mais le cerveau peut-il diminuer sa propre consommation pour favoriser la survie de l'organisme ? Cette équipe a montré qu'en cas de disette, le cerveau des drosophiles inhibe la consolidation de la mémoire à long terme aversive (très coûteuse). En réactivant de manière transitoire les neurones concernés chez des sujets en pénurie alimentaire, on observe effectivement un rétablissement des capacités mnésiques, mais une réduction sensible du taux de survie. Ces résultats mettent en évidence un compromis, en cas de pénurie nutritionnelle, entre certaines fonctions cérébrales de haut niveau et l'état physique global de l'organisme.

Enfin, l'équipe a travaillé sur une enzyme particulière et très importante dans la consolidation de la mémoire, la phosphodiesterase *Dunce*, chargée de dégrader l'AMP cyclique. Cette protéine agit de fait comme un interrupteur à l'échelle moléculaire qui enclenche la formation de la mémoire à long terme chez la drosophile. Son inhibition a même permis d'induire l'inscription dans la mémoire à long terme de connaissances qui, d'ordinaire, ne sont stockées qu'à court terme. Elle agit en fait comme un "poste de contrôle", qui garantit que seules les expériences les plus pertinentes seront consolidées dans la mémoire à long terme.

POUR EN SAVOIR PLUS

Dunce Phosphodiesterase Acts as a Checkpoint for Drosophila Long-Term Memory in a Pair of Serotonergic Neurons, L. Scheunemann, P.-Y. Plaçais, Y. Dromard, M. Schwärzel, T. Preat, *Neuron*, 2018.

Upregulated energy metabolism in the Drosophila mushroom body is the trigger for long-term memory, P.-Y. Plaçais, E. de Tredern, L. Scheunemann, S. Trannoy, V. Goguel, K.-A. Han, G. Isabel et T. Preat, *Nature Communications*, 2017.

EN BREF

Une nouvelle équipe pour étudier la mémoire

L'équipe de Gisella Vetere figure parmi les toutes dernières arrivées au LPC : elle héberge actuellement un post-doctorant et un doctorant financé par le programme Cofund. Les chercheurs poursuivront leurs travaux sur la consolidation de la mémoire chez la souris. L'objectif est de démontrer, en partant d'une logique "réseau", qu'une région neuronale est d'autant plus importante dans la consolidation mémorielle qu'elle communique avec beaucoup d'autres zones. Plus précisément, Gisella Vetere va travailler sur les régions du thalamus et analyser comment elles font communiquer l'hippocampe et le néocortex, en particulier en ce qui concerne les neurones directionnels. Il s'agira également de travailler sur la mémoire artificielle : il est ainsi possible d'apprendre à une souris à ne pas aimer une odeur qu'elle n'a jamais sentie. Des connaissances qui pourraient s'avérer précieuses, dans l'avenir, pour le traitement de certains désordres post-traumatiques.

À LIRE : *Chemogenetic Interrogation of a brain-wide fear memory network in mice*, G. Vetere et al., *Neuron*, 2017.

Le bandeau pour faire de beaux rêves



Responsable de l'équipe Mémoire, oscillations cérébrales et états du cerveau, Karim Benchenane travaille également en partenariat avec la start-up Dreem qui développe un bandeau pour enregistrer le sommeil et améliorer la qualité du sommeil

à l'aide de stimulations sonores. L'équipe de Karim Benchenane essaie de comprendre les mécanismes neurophysiologiques mis en jeu lors des stimulations sonores du bandeau et afin d'en améliorer l'efficacité. Dreem est un bandeau à porter pendant le sommeil : il enregistre l'activité cérébrale, la fréquence cardiaque, la saturation en oxygène ainsi que les mouvements et la fréquence respiratoires. Les données sont analysées en temps réel et permettent, grâce à un algorithme d'intelligence artificielle, de dresser rapidement un profil du sommeil du patient. Grâce à deux transducteurs de conduction osseuse permettant d'émettre des sons, il devient alors possible de mettre en place des "Dreem Techniques" pour aider à un endormissement plus rapide (relaxation), améliorer la qualité du sommeil profond (stimulations sonores) ou assurer un réveil en pleine forme (alarme intelligente). Ce partenariat est un exemple d'interaction étroite et fructueuse entre la recherche fondamentale et le monde de l'entreprise, fortement encouragé par l'ESPCI.

L'autophagie dans la maladie de Parkinson

Parmi les différentes approches d'études de la maladie de Parkinson, le modèle de la drosophile, bien que distant de l'homme, présente de nombreux avantages. L'équipe de Serge Birman a axé sa recherche sur Lamp-2A, une protéine de la membrane des lysosomes chargée de réceptionner et transporter les protéines devant être dégradées au cours du processus d'autophagie. D'après les observations effectuées sur des modèles rongeurs, une surexpression de Lamp-2A protégerait contre le vieillissement et certains facteurs de la maladie de Parkinson. Or, en exprimant ce gène (initialement absent chez la drosophile) dans les neurones, la mouche semble protégée contre les symptômes ordinairement associés à la maladie de Parkinson (stress oxydatif, perte de locomotion...). Les résultats obtenus renforcent ainsi l'idée d'utiliser le modèle drosophile pour l'étude de la maladie.

À LIRE : *The lysosomal membrane protein LAMP2A promotes autophagic flux and prevents SNCA-induced Parkinson disease-like symptoms in the Drosophila brain*, A.-R. Issa et al., *Autophagy*, 2018.

PHYSIQUE ET MÉCANIQUE DES MILIEUX HÉTÉROGÈNES [PMMH]

70-80 publications
par an

2,5 publications par
an et par chercheur

Effectif permanent

23 CNRS

4 ESPCI

6 Sorbonne Université

3 Université de Paris

35 doctorants

13 post-doctorants

3

QUESTIONS À

— DAMIEN VANDEMBROUCQ —
Directeur du PMMH

Comment s'est passé le récent déplacement du laboratoire ?

Le laboratoire a déménagé en mars 2018 : 75 % du personnel travaille désormais dans de nouveaux locaux sur le campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université ; 20 % est installé à l'Institut Langevin, et une dernière équipe, dirigée par David Quéré, officie à l'Institut Pierre-Gilles de Gennes. Nous avons inauguré les nouveaux locaux le 19 septembre 2018, et nous en sommes très satisfaits. Le seul inconvénient est l'éclatement sur trois sites : maintenir la cohésion du laboratoire est un de nos défis pour les années à venir, et nous comptons bien le relever.

Quelles sont les spécificités du PMMH ?

Nos thématiques de recherche, très variées, couvrent quatre grands thèmes : hydrodynamique ; interfaces ; la matière molle et biophysique et mécanique physique. Mais au-delà de cette variété des sujets étudiés et des techniques mises en oeuvre, notre fonctionnement se caractérise par une grande fluidité entre les gens, les thèmes, les laboratoires... Nous avons une approche "à échelle humaine" des phénomènes que nous étudions.

Le fondateur du laboratoire, Étienne Guyon, a récemment publié un livre de vulgarisation scientifique...

Cet ouvrage, *Du merveilleux caché dans notre quotidien*, écrit à huit mains avec José Bico, Étienne Reyssat et Benoît Roman, est emblématique de notre démarche : il se concentre sur la physique du quotidien, à notre échelle. Dans les revues de vulgarisation, on se focalise en général sur l'infiniment grand et l'infiniment petit : l'astrophysique et la physique quantique. C'est fascinant mais un peu restrictif : il reste énormément de questions à étudier dans notre environnement proche, et elles sont tout aussi fascinantes !

LA FLEXIBILITÉ DE L'INTERACTION FLUIDE/STRUCTURE

DES FLAGELLES AUX ÉOLIENNES

L'interaction fluide/structure compte parmi les problèmes les plus classiques de la mécanique des fluides. La compréhension du couplage entre un écoulement et un objet fixe, déformable ou en mouvement est cruciale, tant pour les applications aéro ou hydrodynamiques (ailes d'avion, coques de bateau) que pour la récupération d'énergie (éoliennes) ou la locomotion animale (vol ou nage). Le laboratoire PMMH participe fortement au renouvellement de ce thème en élargissant son étude à toutes les échelles, en considérant des fluides complexes et/ou en développant une approche biomimétique.

PROPULSION ANIMALE ET BIO-INSPIRATION

Dans le domaine de la propulsion animale (nage de poissons, vol d'insectes ou d'oiseaux), le problème est piloté par un mouvement actif de la structure (ailes ou nageoires, par exemple) qui produit la force propulsive.

Les équipes du PMMH ont ainsi étudié la propulsion par ailes battantes et la nage ondulatoire en partant du cas le plus simple, où la structure est rigide, jusqu'au cas où celle-ci est déformable sous l'action de l'écoulement. Parmi les questions récurrentes se trouve celle du couplage entre la dynamique tourbillonnaire et l'élasticité du corps en

Proposer de nouvelles idées pour la production d'énergies renouvelables.

mouvement. Ces phénomènes physiques inspirés de la locomotion animale, ainsi que les outils analytiques développés pour étudier les interactions fluide/structure, ont permis de proposer de nouvelles idées pour la production d'énergies renouvelables (éolienne, houlomotrice). Le laboratoire étudie et optimise un nouveau type d'éoliennes à pales flexibles bio-inspirées. Ces dernières peuvent se déformer passivement sous l'effet des forces aérodynamiques et centrifuges. Cette recherche s'inspire d'études récentes sur le vol des insectes et sur la reconfiguration des plantes, qui montrent la capacité des feuilles et des ailes souples d'insectes à s'adapter aux conditions de vent, et ainsi à augmenter leurs performances.

POUR EN SAVOIR PLUS

On the diverse roles of fluid dynamic drag in animal swimming and flying, R. Godoy-Diana et B. Thiria. Journal of the Royal Society Interface, 15, 20170715, 2018.

Tumbling, buckling, snaking: Morphological transitions of elastic filaments in shear flow, Y. Liu, B. Chakrabarti, D. Saintillan, A. Lindner et O. du Roure, PNAS 115, 9438, 2018.

SUSPENSIONS COMPLEXES

À petite échelle, l'interaction entre un fluide et un objet, filament élastique ou particule complexe, contrôle la dynamique des bactéries (propulsion flagellaire) mais aussi la rhéologie de suspensions complexes comme le sang. Grâce aux développements récents de la microfluidique et de la microfabrication, les chercheurs du PMMH ont pu étudier la dynamique individuelle de filaments élastiques sous écoulement et comprendre les changements morphologiques qu'il subit. Ils ont ainsi mis en évidence l'apparition d'instabilités et de transitions de flambage entre des configurations rigides et des configurations très déformées plus vermiculaires ou serpentine. Ces études expérimentales très contrôlées ont permis de valider les modèles théoriques qui prédisent le seuil d'apparition de ces transitions. La possibilité d'observer l'interaction fluide/structure à l'échelle des particules et, simultanément, de caractériser expérimentalement la réponse rhéologique macroscopique permettra à terme d'établir un lien direct entre les différentes échelles du problème et de mieux comprendre les propriétés d'écoulement des fluides complexes.

EN BREF

Étudier le cortex cellulaire

L'actine est une protéine qui forme des réseaux dynamiques de fibres dans les cellules. Sous la membrane cellulaire, on trouve un réseau contractile d'actine, le cortex, encore assez méconnu et qui participe aux propriétés migratoires des cellules. Le laboratoire a mis au point un système innovant pour en étudier les propriétés en utilisant des microbilles magnétiques. L'idée est de pincer cette fine structure entre une bille ingérée par la cellule et une bille restée à l'extérieur. En jouant sur l'intensité du champ magnétique appliqué de l'extérieur, les chercheurs peuvent étudier les propriétés mécaniques et dynamiques du cortex cellulaire. Ils ont ainsi pu observer une variation régulière de l'épaisseur au cours du temps et des variations de sa rigidité. Ces travaux devraient permettre de mieux comprendre le fonctionnement de l'actine et son rôle essentiel à la vie cellulaire.

La leçon des gouttes



L'équipe de David Quéré travaille sur un phénomène connu depuis 250 ans, la caléfaction : projetez des gouttes d'eau sur une surface très chaude (300 °C) et elles glissent sur un coussin de vapeur. Elles glissent même tellement vite qu'il faut, pour les étudier, les piéger sur des surfaces concaves. En étudiant les mouvements à l'intérieur des gouttes, les chercheurs ont ainsi découvert qu'à l'échelle millimétrique, quand les gouttes étaient quasi sphériques, elles tournaient sur elles-mêmes. Étant sur coussin d'air, donc exemptes de friction par rapport

à leur support, cette rotation ne devrait pas influencer leur mouvement, et pourtant ces gouttes se déplacent d'elles-mêmes dans le sens de la rotation ! L'explication proposée, à base de couplage entre l'écrasement de la couche de vapeur et des vitesses asymétriques, importe finalement assez peu par rapport à la leçon heuristique qu'en tire David Quéré : comme ces gouttes sont très mobiles, le premier réflexe de tous les chercheurs qui les étudient depuis plus de deux siècles a été de les piéger, masquant ainsi le phénomène le plus étonnant qu'ils avaient à découvrir : leur mobilité ! À méditer.

À LIRE : *Study of the dendritic cell using the magnetic pincher, V. Laplaud, Thèse Université de Paris (2019). Leidenfrost wheels, A. Bouillant, T. Mouterde, P. Bourriane, A. Lagarde, C. Clanet et D. Quéré, Nature Physics 14, 1188 (2018).*

Comprendre la plasticité des verres

Le phénomène de déformation plastique est bien connu dans le cas des matériaux périodiques, cristallins, mais beaucoup moins dans celui des matériaux amorphes (verres, gels, milieux granulaires...). Sollicités mécaniquement, ces derniers réagissent pourtant tous plus ou moins de la même manière, il doit donc être possible de modéliser ce phénomène. Les recherches de Sylvain Patinet visent précisément à dériver des lois de comportements mécaniques physiquement justifiées pour les verres. En s'appuyant sur une nouvelle méthode d'échantillonnage des réarrangements plastiques à l'échelle atomique, l'idée est ici de "remettre de l'ordre" dans les matériaux amorphes. En clair : trouver la brique élémentaire jusqu'ici manquante pour pouvoir modéliser ces systèmes à différentes échelles.

À LIRE : *Local yield stress statistics in model amorphous solids, A. Barbot, M. Lerbinger, A. Hernandez-Garcia, R. Garcia-Garcia, M. L. Falk, D. Vandembroucq and S. Patinet, Phys. Rev. E 97, 033001 (2018).*

PHYSIQUE POUR LA MÉDECINE [PHYSMED]



5 bourses ERC
obtenues
depuis 2013

20 brevets publiés
en 2019

11 prix et
distinctions attribués
à nos étudiants
entre 2017-2019
lors d'événements
scientifiques
internationaux

6 publications
dans les revues
du groupe Nature
entre 2017-2019

3

QUESTIONS À

— MICKAËL TANTER —
Directeur de l'unité PhysMed

Quel est le concept du laboratoire ?

Notre équipe de recherche a été créée en 2007 et était à l'origine à l'Institut Langevin. À la suite d'une forte croissance, nous avons pris notre indépendance avec la création d'un nouveau laboratoire. Notre UMR, fondée officiellement en 2019, rassemble des physiciens et essaye d'adapter toutes leurs créations dans le domaine de la médecine. C'est un chemin semé d'embûches, qui se développe sur un continuum très long : fabrication d'instruments, prototypes, imagerie sur l'animal, prototype clinique, preuve de concept clinique... mais nous avons réussi ! Nous comptons désormais une soixantaine de membres dans le laboratoire.

Sur quoi fondez-vous votre stratégie ?

Sur deux aspects : d'abord, créer de nouveaux concepts d'imagerie, de thérapie, et des technologies dont les caractéristiques uniques permettent de voir des choses jamais observées. Ces outils vont ainsi bénéficier à la recherche fondamentale en médecine. Puis répondre aux besoins cliniques des patients en inventant des outils que nous amenons jusqu'à la validation clinique. Sur ce point, nous sommes parfaitement inscrits dans la tradition de l'école. Quand Pierre et Marie Curie ont découvert le radium, ils ont été à l'origine des développements de la radiothérapie.

Quels sont vos grands succès ?

Nous avons été au cours des vingt dernières années à l'origine de quatre start-ups qui ont été de vrais succès technologiques. Nos travaux ont un vrai impact sociétal, ciblant trois grands domaines de la médecine : le cancer, les maladies cardiovasculaires et les neurosciences. Nous avons récemment fait entrer les ultrasons dans le domaine des neurosciences en faisant la preuve du concept de l'imagerie fonctionnelle ultrasonore de l'activité cérébrale. Nous avons de plus multiplié par 100 la résolution spatiale des ultrasons au cours des dernières années et démontré que les ultrasons permettaient d'imager la vascularisation des organes jusqu'à ses plus petits composants, les capillaires. Les ultrasons deviennent la seule modalité d'imagerie médicale non invasive capable d'atteindre des résolutions micrométriques à plusieurs centimètres de profondeur.

L'IMAGERIE NEURO-FONCTIONNELLE ULTRASONORE DU NOUVEAU-NÉ : UNE PREMIÈRE MONDIALE



L'équipe a réussi une première scientifique et médicale : imager par échographie l'activité cérébrale du nouveau-né.

La technique utilisée est la neuro-imagerie fonctionnelle ultrasonore, inventée en 2009 par l'équipe de Mickaël Tanter. L'idée, originale, consiste à utiliser des ultrasons, technologie portable et simple d'utilisation, contrairement aux autres modalités d'imagerie cérébrale comme l'IRM qui reste contraignante, coûteuse, avec de longs délais d'attente pour les patients et non applicable pour certains sujets fragiles.

Si le prototype ressemble aux échographes utilisés en obstétrique ou en échocardiographie, il dispose d'un système d'acquisition des images à très haute cadence. Des algorithmes de traitement de données de pointe permettent ainsi de cartographier avec une très grande sensibilité les variations subtiles de flux sanguins dans les petits vaisseaux cérébraux, qui sont liées à l'activité neuronale. La neuro-imagerie fonctionnelle par ultrasons combine une cadence ultrarapide avec une très bonne résolution spatiale et une grande profondeur d'imagerie. La technologie est développée dans le cadre du projet Fusimagine, financé par le Conseil européen de la recherche.

Après des années de développements techniques et d'études précliniques, le système est à présent applicable à l'humain. Pour la première fois, l'activité

cérébrale de nouveau-nés prématurés a été enregistrée dans de larges régions du cerveau, au repos et lors de crises d'épilepsie, à 1 000 img/s et avec une résolution spatiale de 150 μm . Ces données inédites montrent une propagation des flux sanguins cérébraux entre et pendant les crises d'épilepsie, et permettent de localiser le foyer de ces crises. Grâce à un prototype d'échographe ultrarapide placé au chevet du nouveau-né, les acquisitions se font de manière totalement non invasive, en plaçant une sonde échographique sur la tête du bébé, au-dessus de la fontanelle. Une première preuve de concept qui marque l'entrée des ultrasons dans le monde des neurosciences cliniques, avec une modalité très sensible, portable et utilisable directement au lit du patient ! L'étude a été réalisée avec le Pr. Olivier Baud au sein du service de néonatalogie et réanimation de l'hôpital Robert Debré, démontrant au passage le potentiel de la technologie pour le suivi de nouveau-nés prématurés.

POUR EN SAVOIR PLUS

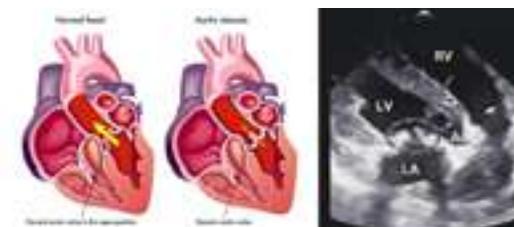
Functional ultrasound imaging of brain activity in human newborns, C. Demené et al., Science Translational Medicine vol. 9, Issue 411. C. Demené, J. Mairesse, J. Baranger, M. Tanter, O. Baud. Ultrafast Doppler for neonatal brain imaging. NeuroImage 2019 ; 185-851-6.

EN BREF

Les ultrasons dans le monde de l'infiniment petit

Une rupture scientifique importante pour le domaine de l'imagerie ultrasonore a été introduite par M. Tanter et O. Couture en inventant un concept de super-résolution ultrasonore, analogue ultrasonore de la super-résolution optique pour laquelle E. Betzig, M. Moerner et S. Hell ont reçu le prix Nobel de chimie 2014. Cette approche basée sur la localisation de millions de microbulles individuelles par échographie ultrarapide différentielle permet aux ultrasons de devenir la première modalité d'imagerie atteignant de manière non invasive des résolutions microscopiques pour la vascularisation et cela à plusieurs centimètres dans les organes. Dans ce domaine émergent que nous avons créé au sein de la communauté ultrasonore, nous venons de réaliser les premières preuves de concept clinique de super-résolution en imagerie cérébrale transcrânienne. Les applications futures de la super-résolution sont très importantes allant de l'imagerie de l'angiogénèse dans le diagnostic du cancer à l'imagerie des accidents vasculaires cérébraux, du diabète ou des pathologies cardiaques.

Opérer le cœur sans l'ouvrir



Le traitement de bon nombre de pathologies cardiaques passe aujourd'hui par une opération à cœur ouvert, chirurgie très lourde qui pourrait être évitée grâce à des ultrasons. Envoyés depuis l'extérieur du corps, ceux-ci pourraient agir à distance, sans ouvrir

le patient. La première application clinique visée est pour l'heure la thérapie de la sténose aortique, pathologie qui voit les valves de l'aorte se calcifier. Le seul traitement actuel est la pose de prothèses de valve, ce qui n'est pas sans risque. Dans les régimes de hautes puissances, les ultrasons peuvent être focalisés précisément pour ramollir sélectivement les zones calcifiées. Les premiers essais cliniques ont eu lieu en 2019, dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire, la société Cardiawave (issue des travaux de notre équipe) et l'hôpital européen Georges Pompidou, et les résultats sont extrêmement prometteurs. Le projet coordonné par Mathieu Pernot est de mettre au point un dispositif ultrasonore complet, avec guidage et suivi du traitement par échographie.

Imagerie simultanée de l'anatomie, de la physiologie et du métabolisme

Jean Provost et ses collègues ont mis au point le premier système préclinique combinant un échographe ultrarapide et un scanner TEP/TDM (tomographie par émission de positrons et tomographie par émission de positrons et tomographie par émission de positrons) pour imager simultanément l'anatomie, la physiologie et le métabolisme des organes en 3D chez le petit animal. Le système est installé au Centre de recherche cardiovasculaire de Paris et a été testé sur deux exemples d'applications : en oncologie, où il a permis de suivre simultanément l'évolution du métabolisme et de la vascularisation d'une tumeur au cours de sa croissance chez une souris, et en cardiologie où un cœur de rat a été imagé en superposant les différentes données. Les travaux ont été financés par France Life Imaging, et les résultats ont fait la une de la revue *Nature Biomedical Engineering* (édition du 6 février 2018).

À LIRE : *Simultaneous positron emission tomography and ultrafast ultrasound for hybrid molecular, anatomical and functional imaging, J. Provost et al., Nature Biomedical Engineering 2018 ; 2(2):85-94.*

SCIENCES ET INGÉNIERIE DE LA MATIÈRE MOLLE [SIMM]

35 publications
par an

21 chercheurs
et enseignants-
chercheurs

49 thésards
et post-docs

12 partenaires
industriels

3

QUESTIONS À

— ÉTIENNE BARTHEL —
Directeur du SIMM

Quelle est la spécificité du laboratoire ?

Le SIMM est le descendant du laboratoire d'étude des polymères. L'héritage de Pierre-Gilles de Gennes et d'autres chercheurs a transformé l'approche de cette science et l'a étendue à une perspective plus vaste, celle de l'étude de la "matière molle". L'idée est de se focaliser sur les échelles mésoscopiques, au-delà de l'atome, mais en-deçà de l'objet. C'est là que se trouve l'origine de nombreuses propriétés physiques ou mécaniques : mouillage, adhésion, fracture... et il s'agit d'une échelle souvent difficile à théoriser.

Qu'est-ce que la matière molle ?

Par définition, il s'agit de matériaux très déformables, ce qui a des conséquences, notamment un grand rôle des mécanismes dissipatifs et de la surface, qui peut s'accroître ou se réduire facilement... Nous construisons des matériaux en jouant sur des interactions faibles, quelque part entre le liquide et le solide. Par ailleurs, ces systèmes ont une très grande hétérogénéité en terme de structure, ce qui nous permet, en variant cette dernière, d'impacter les propriétés physiques.

Sur quelles thématiques travaillez-vous ?

Une partie des chercheurs s'intéresse à la déformation des solides mous, une autre se penche sur les subtilités des interfaces de liquides complexes. Et un troisième axe concerne les assemblages fonctionnels, dont l'objectif est de construire ces "solides mous" par assemblage de structures de tailles supérieures à l'atome. On peut par exemple aller au-delà des réseaux polymères en combinant plusieurs réseaux, ce qui donne des systèmes à la fois très extensibles et très résistants mécaniquement. Cet assemblage architectural combine des propriétés qu'on n'obtiendrait pas avec un assemblage classique.

LES ÉTONNANTES PROPRIÉTÉS DES HYDROGELS

DES SOLIDES ÉLASTIQUES... COMPOSÉS D'EAU !

Parmi les centres d'intérêts du SIMM se trouvent les hydrogels. Principalement constitués d'eau (souvent environ 90 %), ces matériaux se comportent pourtant comme des solides élastiques. De faibles quantités de polymères suffisent à donner un caractère solide au matériau en s'organisant sous la forme d'un réseau tridimensionnel, avec des tailles de mailles de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres. Les équipes étudient de nouveaux designs macromoléculaires et développent des stratégies de renforcement mécanique originales pour concevoir des gels robustes mécaniquement, notamment capables de résister à la rupture.

LIAISONS SACRIFICIELLES RÉVERSIBLES

Pour prévenir la fracture, il a d'abord été tenté de concevoir des réseaux parfaitement contrôlés, en homogénéisant la taille des mailles et en calibrant la distance entre les nœuds pour éliminer toute imperfection. Mais la chasse aux défauts ou la réalisation d'un réseau "parfait" s'est avérée difficile et, en définitive, peu efficace. C'est finalement en envisageant le problème dans une toute autre philosophie

POUR EN SAVOIR PLUS

Hydrogels with Dual Thermo-responsive Mechanical Performance, H. Guo, C. Mussault, A. Marcellan, D. Hourdet, N. Sanson, *Macromolecular Rapid Communications*, 38 (17), pp. 1700287, 2017.

que le laboratoire a mis à profit les hétérogénéités. L'idée est d'introduire délibérément dans le réseau des liaisons faibles, dites "sacrificielles", qui vont se rompre progressivement et de manière répartie dans le matériau. Contrairement aux liaisons chimiques conventionnelles, ces liaisons de faible intensité ont la capacité de se reformer. Avec ces "défauts", le réseau peut alors se réorganiser. Les gels obtenus révèlent des propriétés remarquables en termes de rigidité et de résistance à la rupture, pouvant même s'autoréparer.

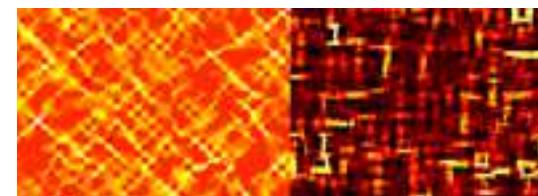
DES "FUSIBLES" EN HYDROGEL

Les équipes du SIMM ont élaboré des hydrogels constitués de chaînes polymères qui, sous l'effet d'une augmentation de température, s'associent pour former des domaines denses à l'intérieur du réseau. Des informations thermodynamiques, structurales et mécaniques ont montré que c'était ces domaines qui provoquaient le renforcement des hydrogels à haute température. En d'autres termes, ils jouent le rôle de "fusibles" et permettent de conserver l'intégrité du matériau. Mais contrairement aux systèmes électriques, qui ne servent qu'une fois, ces fusibles peuvent se reformer en effectuant un cycle de température ou en relâchant la contrainte mécanique.

La formation de ces domaines denses par élévation de la température est reliée au processus général de séparation de phase des polymères. Ainsi, les chercheurs ont pu montrer que ce concept pouvait être généralisé à d'autres polymères thermosensibles et même être utilisé pour générer des renforcements thermostimulés multiples, à la fois lors du chauffage et du refroidissement, en couplant astucieusement des polymères possédant des propriétés de séparation de phase opposées avec la température.

EN BREF

Prédire la réponse mécanique des polymères vitreux



Pour étudier le rôle du désordre dynamique sur les propriétés mécaniques des polymères vitreux, le SIMM a développé, en partenariat avec le Centre des matériaux des Mines de Paris, une approche combinant mécanique des milieux continus et physique statistique. Les chercheurs ont ainsi montré que la réponse mécanique macroscopique d'un polymère vitreux dépend des couplages entre les hétérogénéités de sa structure. Si les caractéristiques du polymère changent en situation confinée, comme on l'observe expérimentalement, c'est que ces couplages disparaissent. Ce modèle permet de prédire la réponse mécanique du polymère à partir de son désordre intrinsèque initial, de manière quantitative. Il peut être utilisé pour étudier les matériaux industriels complexes comme les élastomères renforcés, les polymères semi-cristallins ou les mélanges polymères. Ce travail est développé dans le cadre d'une chaire tripartite entre le SIMM, le Cemef et la société Hutchinson.

À LIRE : *Role of Dynamical Heterogeneities on the Mechanical Response of Confined Polymer*, R.J. Masurel, P. Gelineau, S. Cantournet, A. Dequidt, D.R. Long, F. Lequeux, and H. Montes, *Phys. Rev. Lett.* 118, 047801, 2017.

Varier l'hydrophobie en continu

La dispersion de particules hydrophobes dans l'eau est particulièrement difficile. En collaboration avec Saint-Gobain Recherche, le laboratoire a mis au point un protocole de synthèse de nanoparti-

cules de silice dont le caractère hydrophobe peut être varié continûment. En pratique, cela a permis de mettre au point des structures poreuses résistantes au séchage qui pourraient être utilisées pour l'isolation thermique des bâtiments. D'un point de vue fondamental, l'analyse de la dimensionnalité des agrégats en fonction du caractère hydrophobe et de la concentration des particules pourrait permettre de mieux appréhender les interactions hydrophobes. Une collaboration dans ce sens a débuté avec des théoriciens de l'Institut de la matière molle de l'université de Georgetown.

À LIRE : *Hydrophobization of Silica Nanoparticles in Water: Nanostructure and Response to Drying Stress*, S. Moro, C. Parneix, B. Cabane, N. Sanson, J.-B. d'Espinose de Lacaillerie, *Langmuir*, 33, 4709-4719, 2017.

Hydrogels antibuée

Les hydrogels sont des réseaux polymères fortement hydrophiles capables d'absorber jusqu'à plusieurs fois leur volume d'humidité. Déposés en films minces, ce sont des candidats intéressants pour la réalisation de revêtements antibuée sur des substrats comme le verre. Le SIMM s'est intéressé non seulement aux liens entre la physico-chimie des revêtements d'hydrogels et la cinétique de diffusion de l'eau, mais également à leurs propriétés de frottement, essentielles du point de vue de leur tenue mécanique. En se fondant sur l'élaboration de réseaux modèles de physico-chimie variée au moyen de protocoles innovants, le laboratoire a montré comment l'hygroscopie du polymère, l'architecture et l'épaisseur des films contrôlent leur cinétique de gonflement dans un flux de vapeur, et donc leur capacité à retarder l'apparition de la buée.

À LIRE : *Friction of poroelastic contact with thin hydrogel layers*, J. Delavoipière, Y. Tran, E. Verneuil, B. Herteufeu, C.-Y. Hui and A. Chateauinois, *Langmuir* 34, 9617-9626, 2018. *Swelling dynamics of surface-attached hydrogel thin films in vapor flows*, J. Delavoipière, B. Heurtefeu, J. Teisseire, A. Chateauinois, Y. Tran, M. Fermigier and E. Verneuil, *Langmuir*, 2018w.

SPECTROMÉTRIE DE MASSE BIOLOGIQUE ET PROTÉOMIQUE [SMBP]

5 permanents

3 chercheurs
et enseignant-
chercheurs
contractuels

5 doctorants

5 à 6
publications par an

1 Plateforme
technologique
nationale en
spectrométrie
de masse haute
résolution depuis
2001

15 ans
de participation
active en formation
permanente et
professionnelle

3

QUESTIONS À

— JOËLLE VINH —
Directrice de SMBP

Quel est le cœur de métier du laboratoire ?

Le SMBP a été créé en 2009 pour répondre à un besoin croissant en biologie et nécessitant un savoir-faire en chimie analytique et en techniques séparatives. L'unité compte treize personnels, dont 3 ingénieurs permanent hautement spécialisés, et nous accueillons plus d'une centaine d'utilisateurs à travers de multiples partenariats.

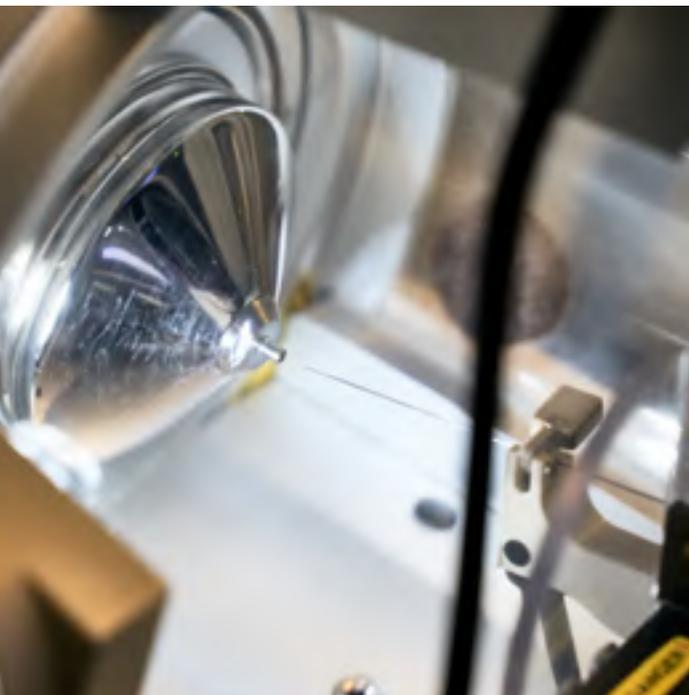
Quelles sont vos grandes thématiques de recherche ?

La principale se situe à l'interface des sciences analytiques et de la chimie des protéines : nous travaillons sur la recherche de sensibilité et de spécificité pour étudier les protéines au niveau moléculaire. Grâce à la spectrométrie de masse, nous pouvons analyser très finement la composition d'un mélange protéique, un outil précieux en biologie. De nouvelles disciplines se développent à partir de ces méthodes : protéomique, peptidomique, rédoxomique, glycoprotéomique associées à la nanochromatographie... Nous travaillons sur les cascades de signalisation en réponse à des stress environnementaux. L'étude des modifications post-traductionnelles est une thématique émergente incontournable pour la compréhension des processus biologiques tant du point de vue fondamental (mécanisme de la réponse immunitaire, réparation des tissus) que dans le cas d'applications biomédicales (cancer, diabète, allergie, maladies auto-immunes). Grâce à la miniaturisation des systèmes via la microfluidique, nous pouvons désormais nous intéresser à de très petites quantités de matériel.

Cas particulier à l'école, il s'agit d'une unité mixte de services et de recherche...

En effet, le CNRS nous habilite à facturer des prestations de services dans notre domaine de prédilection : l'identification et la caractérisation des protéines au sein d'un échantillon. Mais nous sommes avant tout une unité de recherche : les services ne constituent qu'une petite part de nos activités, qui permet de financer en partie la maintenance de notre matériel.

DE NOUVEAUX OUTILS POUR LA RÉDOXOMIQUE



Suite aux travaux de thèse de Shakir Shakir, le laboratoire travaille actuellement sur la transposition de ses protocoles dans des puces.

L'analyse des modifications post-traductionnelles est une des contributions les plus importantes de la protéomique aux sciences du vivant. Cependant, malgré les progrès des sciences séparatives et les développements techniques importants des dernières années dans le domaine de la spectrométrie de masse, l'analyse quantitative des modifications post-traductionnelles demeure un défi analytique. Le nombre limité de modifications identifiées de manière robuste par les algorithmes de recherche bio-informatiques, la nécessité d'étapes d'enrichissement et la quantification réalisée en se fondant sur un seul peptide ne sont que quelques-unes des difficultés les plus évidentes.

De plus, l'interprétation des données impose certaines précautions. En effet, la quantification des modifications post-traductionnelles devrait toujours être associée au niveau d'expression de la protéine afin d'éviter des faux positifs/négatifs. Plus spécifiquement, la modification rédox des résidus

cystéines constitue un cas d'étude très important, d'une part à cause de l'omniprésence de ces modifications dans le cadre du stress oxydant et de l'homéostasie rédox, et d'autre part à cause de l'implication des modifications rédox dans diverses cascades de signalisation et processus biologiques. Par ailleurs, quoique moins complexes que les glycosylations, les modifications rédox des cystéines posent un défi supplémentaire vu l'hétérogénéité intrinsèque des formes oxydées et les variations importantes de la fraction modifiée (*site occupancy*). Plusieurs stratégies analytiques pour la quantification de ces modifications des cystéines ont ainsi été développées. Une première, OxiTMT, vise la caractérisation et la quantification des modifications post-traductionnelles et a été publiée : elle repose sur un marquage chimique spécifique de la cystéine par des *tandem mass tags*. Cette méthode permet d'obtenir l'information quantitative concernant la fraction modifiée, ainsi que l'information du niveau d'expression de la protéine. Une étude servant de preuve de concept a été effectuée sur une culture d'*Escherichia coli* ayant reçu un traitement oxydant, en comparaison avec la même souche sans traitement.

Une méthode fondée sur un marquage chimique permet d'étendre les applications à l'étude des cultures cellulaires autotrophes, mais également à l'étude des tissus et biopsies. Actuellement, les équipes du laboratoire finalisent une nouvelle méthode ainsi que sa miniaturisation mettant en œuvre un marquage métabolique. Ces dispositifs viendront compléter la boîte à outils permettant de caractériser et quantifier les modifications rédox sur les cystéines.

POUR EN SAVOIR PLUS

Quantitative analysis of the cysteine redoxome by iodoacetyl tandem mass tags, S. Shakir, J. Vinh et G. Chiappetta, *Anal. Bioanal. Chem.*, 409(15):3821-3830, 2017.

EN BREF

Les peptides néosynthésés par recombinaison de protéine

À travers ses travaux de thèse effectués au SMBP, Sergio Gonzalez-Duque a mis en évidence une nouvelle classe de peptides impliqués dans la réponse immunitaire. Sa recherche portait sur les peptides épitopes, présents à la surface des cellules du pancréas et ciblés par les lymphocytes dans les cas de diabète auto-immun de type 1. La plupart de ces éléments n'avaient jusque-là jamais été identifiés. Pour ce faire, l'équipe de recherche a fait appel à des techniques de peptidomique et de transcriptomique : en analysant séparément l'ARNm et les peptides exprimés *in fine* à la surface de la cellule, ils ont pu identifier plusieurs voies impliquées dans la génération et la présentation de ces épitopes, incluant l'épissage alternatif d'ARNm et de peptides. Ce peptidome ouvre de nouvelles voies pour mieux comprendre la fabrication des antigènes par les cellules, le développement de biomarqueurs et de nouvelles stratégies de vaccinations tolérogènes.

À LIRE : *Conventional and Neo-Antigenic Peptides Presented by β -Cells Are Targeted by Circulating Naïve CD8⁺ T Cells in Type 1 Diabetic and Healthy Donors*. S. Gonzalez-Duque et al., *Cell Metab.*, 23. pii : S1550-4131(18)30450-9, 2018.

Nouvelle stratégie de caractérisation des anticorps

La spectrométrie de masse est devenue un outil incontournable dans la caractérisation des protéines comme les immunoglobulines γ (IgG), une application classiquement effectuée à travers une stratégie *bottom-up*. Or cette approche est compliquée par l'existence de différentes combinaisons de polymorphismes des IgG, touchant de petits domaines protéiques de quelques acides aminés. La thèse d'Alexandra Emmanuel a porté sur la caractérisation de ces polymorphismes à travers une autre approche protéomique, le *middle-down*, qui permet d'analyser de grands fragments. Cette nouvelle approche a fait l'objet d'un dépôt de brevet et de

déclaration d'innovation en partenariat avec l'Institut de recherche pour le développement (IRD). La preuve de concept nécessite encore quelques optimisations, mais la démonstration des capacités du spectromètre de masse QqOrbitrap à effectuer ces mesures avec précision par *middle-down* pourrait déboucher sur un outil diagnostique pour la caractérisation des polymorphismes dans les cas de suspicion d'infections parasitaires congénitales, comme la toxoplasmose et la maladie de Chagas.

À LIRE : *Human Immunoglobulin Heavy Gamma Chain Polymorphisms: Molecular Confirmation of Proteomic Assessment*, M. Dambrun et al., *Mol. Cell Proteomics*, 16(5):824-839, 2017.

Un équipement de pointe

Une des principales spécificités du SMBP est sans conteste sa plate-forme technologique, qui appartient depuis sa création au groupement d'intérêt scientifique des plates-formes nationales IBiSA (Infrastructures en biologie santé et agronomie) pour la protéomique. Ce label a été renouvelé en décembre 2019. Six spectromètres de masse à très haute résolution (temps de vol) ou ultra-haute résolution (mesure par transformée de Fourier) sont exploités en routine pour l'analyse des macrobiomolécules, peptides et protéines entières. Chaque année, ce sont entre 10 et 15 équipes externes, chercheurs, doctorants ou ingénieurs des secteurs académiques ou privés, qui viennent travailler sur ces équipements. Grâce à ce label et à une subvention du Conseil Régional d'Ile de France obtenue en 2018, le laboratoire bénéficie depuis 2019 d'un équipement unique en France de type Tribrid Eclipse ETD, HCD, UVPD qui atteint 1 million de résolution et est couplé à un module de mobilité ionique et à des techniques séparatives en nanochromatographie. Une procédure de mise en contact permanente permet aux chercheurs intéressés de soumettre leur projet de manière très souple et avec un temps de réponse minimal.

www.smbp.espci.fr



INNOVATION

IMPULSER DES INNOVATIONS MAJEURES
EN S'APPUYANT SUR LA CULTURE
ENTREPRENEURIALE DE L'ÉCOLE



PC'UP, UN INCUBATEUR DEEPTech EN PLEINE EXPANSION



Manon Pommier, manager PC'up
Élodie Tramoy, start-up development manager

Depuis sa création en 2015, 21 start-up ont été lancées grâce à l'incubateur PC'up. Labellisé par la Ville de Paris, ancré dans un écosystème riche et très favorable, PC'up s'étoffe depuis, sous l'impulsion de Manon Pommier, Manager PC'up et d'Élodie Tramoy, start-up Development Manager, recrutée en 2018 pour enrichir l'accompagnement des start-up. Rencontre avec ces deux femmes qui accompagnent des porteurs de projets à haute valeur technologique.

POURQUOI UN INCUBATEUR DANS UNE ÉCOLE ?

Elodie Tramoy : L'ESPCI possède un écosystème incroyable ! Un mélange de recherche fondamentale et appliquée dont de nombreuses technologies tournées vers l'innovation rendent cette école unique. L'incubateur, à l'époque de sa création, s'affichait comme évident vis-à-vis des nombreux *spin-off* qui émergeaient des laboratoires de recherche. Il est désormais un levier incontournable pour la plupart des grandes structures d'enseignement et de recherche. Il apporte de la visibilité, à la fois sur les recherches menées

en interne mais aussi sur la capacité à transformer ces découvertes en innovations qui peuvent impacter fortement nos vies quotidiennes.

Manon Pommier : Nous nous plaçons à l'interface entre éducation, recherche et innovation et le terrain est très fertile. Il y a une vraie imprégnation de la culture entrepreneuriale, en particulier dans les laboratoires. D'ailleurs, la valorisation des découvertes de la recherche fait partie de l'ADN de l'école : le "i" d'*industrielles* n'est pas là par hasard, et de grands noms comme Marie Curie ou Paul Langevin autrefois, Pierre-Gilles de Gennes ou Georges Charpak hier, mais aussi Mathias Fink, Jérôme Bibette, Mickaël Tanter ou Andrew Griffiths aujourd'hui, travaillent avec ce souci permanent de la valorisation de travaux de recherche.

À QUI EST DESTINÉ L'INCUBATEUR ?

MP : Nous ne sommes pas exclusifs. Bien sûr l'école possède des laboratoires très féconds en terme de start-up, mais nous accueillons également des sociétés qui sont nées ailleurs. Un jury de sélection se réunit pour choisir les projets qui sont porteurs.

ET : La plupart de nos créateurs de start-up sont des chercheurs chevronnés, ou des post-doc, qui ont besoin d'un réel accompagnement. En fonction de leur appétence, ils deviennent CEO en se formant au management et à la gestion d'entreprise, ou s'orientent vers la fonction de CTO et s'associent à un CEO, qui vient souvent du milieu industriel. PC'up a la particularité d'être un incubateur deeptech, c'est à dire que nous accueillons des sociétés issues de laboratoires de recherche développant une innovation de rupture et contribuant à résoudre les grands défis du XXI^e siècle.

MP : Et il y a une cible particulière que nous aimerions atteindre : nos brillant-e-s étudiant-e-s ! Il y a une vraie fibre entrepreneuriale à développer chez eux.

JUSTEMENT QUEL EST VOTRE LIEN AVEC LES ÉTUDIANTS ET AVEC L'ÉCOLE EN GÉNÉRAL ?

MP : Les étudiants sont un vivier important de recrutement. De nombreuses offres de stages ou d'emplois circulent parmi les élèves, et nous orga-

nisons des rencontres avec les start-up. Par ailleurs, l'écosystème de l'école est un véritable bouillon intellectuel pour nos incubées. Il y a une multitude de conférences scientifiques au cours de l'année, et les laboratoires restent ouverts.

EN QUOI CONSISTE L'INCUBATION ?

MP : En pratique, nous préparons un parcours immobilier pour chaque start-up en fonction de son stade de développement. Certaines sont directement implantées au cœur des laboratoires, d'autres disposent de leurs propres locaux sans oublier bien sûr le côté deeptech qui impose des infrastructures et des contraintes particulières. Nos start-up ont ce besoin d'avoir un espace laboratoire que nous leur proposons. Pour répondre à ce besoin, nous avons un accord avec l'Institut Pierre-Gilles de Gennes (IPGG) pour que nos incubés aient un accès privilégié à leur plateforme technologique.

Il y a par ailleurs un accompagnement collectif des start-up qui est organisé : des moments d'échanges avec d'anciens incubés, des témoignages, mais aussi des rencontres entre CEO qui peuvent échanger sur les difficultés qu'ils rencontrent et trouver des solutions ! Des ateliers et des formations sont aussi organisés régulièrement, autour du management, du marketing ou d'autres thématiques en fonction des besoins recensés.

Nous accompagnons autant que possible des scientifiques qui pour certains découvrent le monde de l'entreprise, et une complexité administrative qui peut parfois faire peur. Mais nous avons désormais quelqu'un qui peut les aider à surmonter ces difficultés puisqu'Élodie nous a rejoints.

ET : En effet, nous accompagnons les start-up dans leur quotidien : qu'il s'agisse de suivre ou challenger leur *business model* ou leur *business plan*, de vérifier que les applications de la technologie qu'elles développent sont en adéquation avec un marché réel. L'accompagnement se matérialise également dans les démarches juridiques et administratives parfois complexes, mais nécessaires pour structurer ces entreprises naissantes. Nous faisons également intervenir des experts (avocats, cabinet de Propriété industrielles, RH...) qui discutent en rendez-vous individuel avec nos

start-up incubées pour leur apporter des premiers conseils en fonction de leur problématique.

L'incubateur PC'up, c'est aussi aider les sociétés à trouver des financements via des appels à projets, des rencontres avec des investisseurs, qu'ils soient industriels ou professionnels de fonds d'investissement.

Des projets avec PSL sont également en co-construction, où l'ESPCI tient une part active. Le dernier en date, PSL Tech Seed qui permet à nos start-up d'accéder à d'autres possibilités de financement en complément d'une levée de fonds.

Enfin dans cette logique de continuum entre la recherche et l'innovation, nous cherchons également à identifier des projets à développer entre les start-up et les laboratoires, notamment pour répondre à des appels européens ou à des appels à projets ANR dans le cadre des programmes d'investissement d'avenir PIA.

QUELS SONT LES GRANDS ENJEUX DE L'INCUBATEUR ?

MP et ET : Nous en avons plusieurs. D'abord il est important de réellement structurer notre programme d'accompagnement. Cela permet de rassurer les candidat-e-s potentiel-le-s et de mieux détecter les bonnes idées.

Bien sûr notre ambition reste de faire prendre de l'ampleur à l'activité de l'incubateur, qui pourrait par exemple accompagner les start-up sur une plus grande durée au cours de leur développement. En effet nous souhaitons les aider davantage sur leur phase de pré-industrialisation, aussi bien sur la partie technique (du prototype à la série) que sur l'accompagnement marketing / stratégie indispensable à cette étape de la vie d'une start-up.

En 2017, PC'up a été lauréat d'un cofinancement FEDER (Fonds européen de développement régional) qui lui a permis de couvrir 30% des dépenses de 2016 à 2018 (salaires, accès à la plateforme IPGG subventionné pour chaque start-up, formations...). Et dans un proche avenir, l'incubateur compte partir à la recherche de partenaires industriels publics et privés afin d'agrandir son réseau et assurer son bon fonctionnement.

QUELQUES START-UP INCUBÉES À PC'UP

CYPRIO

“BioPearl” est l’innovation proposée par Cyprio à l’industrie pharmaceutique, aux innovateurs en biotechnologie, à la recherche scientifique. Il s’agit d’une capsule de culture cellulaire permettant d’obtenir des micro-tissus d’organes, comme le foie. Dès sa création, la technologie a rencontré son marché. « *Avec les techniques de culture classique, il est impossible de maintenir les fonctions clés de cellules primaires du foie, les hépatocytes, au-delà de quelques jours*, explique Noushin Dianat, co-fondatrice de Cyprio. *Or, pour des tests médicamenteux, une durée de vie plus longue est nécessaire.* » Les micro-foies obtenus ainsi conservent leurs fonctions métaboliques plus de six semaines et répondent aux besoins de tests plus fiables et moins coûteux. “BioPearl” est actuellement en plein développement. « *À terme, nous pensons intégrer cette technologie aux organes bioartificiels, une solution palliative pour des patients en attente d’une transplantation hépatique.* »

cyprio.fr

GREENERWAVE

Faire des objets quotidiens les alliés de la transmission d’ondes électromagnétiques : c’est la vision portée par Greenerwave. « *Nous inventons des matériaux intelligents, capables de focaliser les ondes, telle une loupe, en direction d’un appareil de réception* détaille Geoffroy Lerozey, expert en électromagnétisme. *Les communications gagnent en qualité et restent sobres en énergie.* » Algorithmes de traitement de données et sciences des matériaux sont les briques de cette technologie. « *L’application visée cette année est celle des étiquettes RFID, permettant par exemple l’inventaire automatique de stocks.* » Greenerwave teste différentes configurations afin de démontrer la robustesse de la technologie. Des discussions s’engagent avec des acteurs de la grande distribution, clients potentiels. « *D’autres applications sont en cours de développement à plus long terme, qui concernent les domaines des antennes plates reconfigurables pour les communications satellites et 5G, et des radars pour véhicules autonomes.* »

greenerwave.com

ICONEUS

ICONEUS produit des outils d’imagerie neuro-fonctionnelle qui permettent pour la première fois d’étudier sans contraintes et en temps réel l’activité cérébrale et le connectome*. Aujourd’hui cette technologie de rupture issue de l’Inserm permet aux chercheurs d’étudier au stade préclinique le fonctionnement du cerveau d’une façon inédite ouvrant la voie vers de nouvelles découvertes. Demain ICONEUS permettra aux médecins de diagnostiquer précocement certaines pathologies pour mettre les traitements en place plus rapidement et assurer un meilleur suivi. Le pronostic des patients sera amélioré ainsi que leur qualité de vie et celle de leurs proches. De plus, le coût des maladies du système nerveux** pour la société en sera diminué.

iconeus.com

* ensemble des connexions entre les différentes zones actives du cerveau

** premier poste de dépense des systèmes de santé dans les pays occidentaux (800 milliards / an soit 35% du budget santé en Europe)

KAPSERA

Kapsera est une jeune société biotechnologique opérant dans le domaine de l’agriculture durable. L’équipe développe et produit des microcapsules biosourcées et biodégradables, idéales pour des usages agricoles respectueux de l’environnement. Le cœur technologique est un procédé microfluidique de production de microcapsules d’alginate extrêmement novateur, développé à l’ESPCI. Ces microcapsules, uniques sur le marché des intrants agricoles, permettent de formuler des micro-organismes bénéfiques des plantes et de les libérer au champ sous une forme hautement active. L’ambition de Kapsera est d’offrir à l’agriculture un nouveau standard de formulation de micro-organismes permettant d’accélérer le développement d’une nouvelle génération d’intrants agricoles : durables et performants.

kapsera.com

LIGHTON

LightOn développe une nouvelle technologie hardware et software de calcul, issue d’une collaboration entre des laboratoires de physique de l’ESPCI et de l’ENS. Son premier produit, l’Optical Processing Unit (OPU), est un co-processeur optique qui effectue certaines opérations utiles à l’Intelligence Artificielle :

- sur des données de plus grande taille : 10 à 100 fois plus grandes que sur les processeurs CPU/GPU,
- plus rapidement : certaines opérations sont accélérées d’un facteur 1000,
- à moindre consommation énergétique : 8 fois moins que les cartes GPU.

LightOn propose actuellement sa technologie à travers sa plate-forme de cloud computing, le LightOn Cloud, à destination des ingénieurs de R&D en Intelligence Artificielle / Machine Learning. A l’horizon 2020, LightOn produira les premiers OPU destinés aux datacenters de l’Intelligence Artificielle. LightOn a l’ambition de devenir le leader des technologies combinant optique et Intelligence Artificielle.

lighton.ai

L'IPGG, UN CENTRE D'EXCELLENCE DÉDIÉ À LA MICROFLUIDIQUE



Parmi ses titres de fierté, l'ESPCI est à l'origine de la création d'un des instituts leaders mondiaux dans le domaine de la microfluidique, l'Institut Pierre-Gilles de Gennes (IPGG).

L'ESPCI est à l'origine de la création d'un des instituts leaders mondiaux dans le domaine de la microfluidique.

Cette nouvelle discipline scientifique permet de manipuler des volumes de fluides infimes (de l'ordre du nano, pico voire femtolitre !), et se révèle d'ores et déjà extrêmement féconde, qu'elle soit utilisée pour de la recherche fondamentale (étude des origines de la vie...) comme pour des applications très terre à terre (libération de micro-organismes dans les cultures...).

Dédié à la recherche, l'IPGG est un espace de 3 000 m² situé rue Jean Calvin, dans le 5^e arrondissement de Paris, tout proche de l'ESPCI. Il dispose d'une plateforme technologique unique au monde, qui regroupe une salle blanche, un atelier de micro-usinage, une salle grise, une salle de culture cellulaire, etc. Il est placé sous la tutelle de quatre grands établissements d'enseignement supérieur et de recherche : l'ENS, Chimie ParisTech, l'ESPCI et l'Institut Curie, avec 50 collaborations industrielles et 15 équipes de recherche PSL. L'IPGG est un pôle d'excellence international qui a pour but de porter cette révolution dont les applications industrielles sont considérables dans les domaines de la santé (détection précoce de maladies infectieuses), de l'énergie, de la chimie verte, de la cosmétique (gel de produits délicats) ou encore de l'agro-alimentaire.



FOCUS

SILICON VALLEY COMES TO PARIS

Le 19 janvier 2018 a eu lieu la première de "Silicon Valley Comes to Paris". Placé sous le haut patronage du président de la République et sous le soutien de la Mairie de Paris, cet événement avait pour but de réunir les acteurs emblématiques de la Silicon Valley et ceux de la recherche scientifique de l'école.

Le thème choisi, « Repousser les frontières de la recherche médicale », a suscité la rencontre de prestigieux invités : Tony Fadell, inventeur de l'iPod, cofondateur de Nest et directeur de Future Shape, Reid Hoffman, cofondateur de LinkedIn, Stephen Quake, coprésident du biohub Chan Zuckerberg, Hemaï Parthasarathy, directrice scientifique de Breakout Labs (Thiel Foundation), ou encore Diego-Sebastian Amigorena, membre de l'Académie des sciences. Tous ont pu assister à diverses présentations et découvrir l'innovation à l'œuvre dans les locaux de l'ESPCI.

Trois chercheurs de l'établissement impliqués dans la valorisation de l'innovation sont notamment intervenus durant l'après-midi : Karim Benchenane, responsable de l'unité "Mémoire, oscillations et état de vigilance" au LPC, Jérôme Bibette, directeur de l'Unité CBI, et Mickaël Tanter, directeur de l'unité PhysMed.

Une journée exceptionnelle qui a permis de nouer de nombreux liens et d'initier plusieurs coopérations désormais en cours.

LES CHAIRES INDUSTRIELLES LES PARTENARIATS GAGNANT-GAGNANT

L'objectif des chaires industrielles est d'assurer des recherches dans des domaines stratégiques et prioritaires pour les acteurs du monde économique. Ces partenariats de 4 à 5 ans en moyenne s'appuient sur un triptyque recherche, industriels et formation.

Comme son nom l'indique, l'ESPCI a vocation à travailler main dans la main avec l'industrie. C'est dans ce but qu'ont été fondées les chaires industrielles, qui permettent de développer des partenariats privilégiés avec de grands acteurs comme Michelin, Total, Saint-Gobain, Axa et Hutchinson. Elles apportent à la fois une source de financement pour la recherche et la formation, mais génèrent également des possibilités de recrutement et d'innovation pour les industriels, dans un contexte plus ouvert que les appels à projets.

Concrètement, elles prennent la forme de dons privés et défiscalisés à hauteur de 60% (conformément à la loi sur le mécénat des entreprises) à destination des programmes de recherche et de formation de l'école. Des visites sur les sites des entreprises, des conférences et des bourses (stages à l'étranger, excellence...) sont également organisées dans ce cadre. Cinq chaires industrielles existent actuellement.

LA CHAIRE SAINT-GOBAIN PHYSIQUE ET CHIMIE DES MATÉRIAUX INNOVANTS

Depuis 2007, cette chaire propose des stages et thèses dans un domaine aux applications multiples (verres hydrophobes ou autonettoyants, transistors transparents, couches minces, nanomatériaux pour l'électronique et l'optique...).

LA CHAIRE MICHELIN SCIENCES DES MATÉRIAUX

Créée en 2008, elle promeut et développe les recherches autour des polymères, matériaux composites, physico-chimie des interfaces et de l'adhésion, tribologie, modélisation des propriétés mécaniques...

**LA CHAIRE TOTAL
SCIENCES AUTOUR DES ÉNERGIES,
DU CARBONE ET DE L'ENVIRONNEMENT**
Inaugurée en septembre 2010 et renouvelée en 2016, cette chaire s'intéresse aux technologies inédites en matière de production, stockage et utilisation de l'énergie et du carbone. Elle inclut également des bourses, stages en entreprises et un financement des moyens de laboratoire.

LA CHAIRE AXA IMAGERIE BIOMÉDICALE

Hébergée depuis 2013 à l'Institut Langevin, cette chaire soutient les travaux d'Emmanuel Fort, créateur des projets scientifiques en équipe. Elle cible le développement de nouvelles méthodes d'imagerie optique pour mieux comprendre les mécanismes cellulaires à l'échelle de la molécule unique et la mise au point de photothérapie utilisant des nanoparticules d'or.

LA CHAIRE DE RECHERCHE DEEP DURABILITÉ DES ÉLASTOMÈRES ET DES POLYMÈRES

Cette chaire est la plus récente et est issue d'un accord signé en décembre 2016 entre Hutchinson, Mines ParisTech et l'ESPCI. Elle prévoit des stages, sept thèses et un post-doctorat étalés sur une durée de sept ans. Le but est de comprendre et prédire les durées de vie des matériaux élastomères et polymères soumis à de fortes sollicitations mécaniques, développés par Hutchinson pour des applications techniques dans le domaine des transports.

DEUX BREVETS PAR MOIS EN MOYENNE

La valorisation de la recherche passe également par le dépôt de brevets. L'ESPCI assiste ses étudiants dans cette démarche, et peut se réjouir d'un grand nombre de dossiers déposés par an.



Le protocole de dépôt d'un brevet est un long chemin administratif, qui commence par le remplissage d'un formulaire à destination de l'organisme de référence, en l'occurrence l'Institut national de la propriété industrielle en France ou l'Office européen des brevets. Sans être complexe, cette succession d'étapes n'est que rarement maîtrisée par les jeunes chercheurs, d'autant qu'elle soulève un certain nombre de questions. Qu'est-ce qui est brevetable ? Qui est l'inventeur ? Le propriétaire ? Le gestionnaire ? Combien de temps prend la démarche ? À quoi sert-il d'étendre le brevet au niveau international ?

L'ESPCI est connue pour la liberté qu'elle accorde à ses chercheurs en matière de brevet : ceux-ci sont en effet libres de choisir au nom de quelle tutelle le brevet sera déposé, donc de choisir le gestionnaire. Ce dernier peut être un organisme public (CNRS, ENS...) ou privé (industrie...), sachant que l'école sera forcément copropriétaire. Se pose ensuite la question de la gestion du brevet, que l'école n'assume généralement pas (sauf dans le cas précis des vitrimères et de leurs applications).

Les brevets en copropriété avec l'industrie représentent un quart à un tiers des dépôts. Parmi ces partenaires, on retrouve bien entendu les partenaires historiques (Saint-Gobain, Michelin...), mais également des sociétés émergentes (comme les GAFA...), le tissu des start-up ou encore un certain nombre d'entreprises européennes (notamment en Allemagne) dont les contacts ont été favorisés par l'UE.

ASSISTER LES CHERCHEURS DANS LEURS DÉMARCHES

Pour un docteur tout juste diplômé, il peut être difficile de se lancer dans les démarches de dépôt : la direction de l'innovation s'emploie donc à les assister dans le montage du dossier, et à les accompagner au long des différentes étapes. Une présentation a lieu en début d'année, au cours de la journée des nouveaux entrants, afin d'expliquer à ces derniers les bases, notamment en ce qui concerne les obligations de confidentialité : il peut être difficile d'admettre, pour un jeune scientifique avide de faire ses preuves à travers ses publications, qu'il est impossible de publier sur un sujet que l'on souhaite déposer. Ainsi la politique de brevets de l'école, sans limiter la recherche, a ses impératifs qui doivent être rapidement intégrés.

L'ESPCI affiche depuis plusieurs années un taux de dépôts de deux brevets par mois (sans compter les demandes d'extensions, de prolongation...), supérieur à la moyenne nationale. Au-delà d'exceptions, le cas classique est celui de déposants fondant leur start-up dans la foulée. Ils pénètrent alors dans ce que les professionnels nomment la "vallée de la Mort", les trois premières années, souvent difficiles, entre le brevet et la valorisation. Là encore l'école est là pour les assister, notamment grâce à l'incubateur PC'Up.

INTERNATIONAL

FAVORISER L'OUVERTURE
À L'INTERNATIONAL

Σ

△

λ

ρ

⊗

μ

~

τ

φ

TRAVAILLER AVEC CEUX QUI NOUS RESSEMBLENT

Les ingénieurs et chercheurs évoluent de nos jours dans un contexte international, auquel il est essentiel de les former. C'est un des rôles de la direction internationale, qui travaille depuis plusieurs années à favoriser les échanges entre l'école et les autres organismes d'enseignement et de recherche à travers le monde.

L'international a toujours été un aspect incontournable de la recherche scientifique, il l'est d'autant plus dans le monde globalisé d'aujourd'hui. Il est indispensable de former des ingénieurs capables d'évoluer au sein de cultures différentes, de savoir s'y confronter et travailler avec. Côté recherche, l'ESPCI entretient des réseaux denses et fructueux à l'international. Il s'agissait toutefois d'améliorer l'engagement de la formation dans ce domaine, et c'est ce à quoi s'est employée la direction internationale ces dernières années.

La stratégie : augmenter les flux entrants et sortants, sur tous les plans, que ce soit la formation, la communication et la recherche. Sur ce dernier point, les laboratoires de l'école sont déjà très avancés, et la direction se contente d'apporter son soutien. Sur la question de la formation, les travaux de la direction générale, de la direction des relations internationales couplés à ceux de la direction des études ont porté leurs fruits.

Ainsi, depuis 2017, 100% des élèves acquièrent au moins une expérience à l'international : tous les étudiants doivent effectuer au minimum trois mois de stage (projet de recherche, stage industriel...) à l'étranger lors de leur 3^e année. En 4^e année, l'école les encourage également à partir, notamment à travers des bourses financées par le Fonds ESPCI. Un étudiant a ainsi pu partir au MIT en 2018. Ces échanges, très formateurs pour les futurs ingénieurs, permettent également de comparer les formations et de s'inspirer de ce qui se fait ailleurs.

RECRECITER À L'ÉTRANGER

En ce qui concerne le recrutement d'étudiants étrangers (13% en 2018), il fait l'objet d'un travail intensif. Le but est désormais de remonter à 15%, un objectif qui peut sembler modeste, mais qui vise avant tout une bonne intégration des nouveaux élèves. Désormais, les cours de 3^e année ainsi que les supports sont donnés en anglais.

Le recrutement international se fait en 2^e et 3^e année, principalement *via* des partenaires de ParisTech. L'école s'appuie également sur le programme Erasmus pour des M1 et M2 européens. En 2018 a été lancé le programme doctoral Cofund UPTO-PARIS, avec un certain succès. Des partenariats sont signés avec les grandes universités étrangères, avec une idée fondamentale : l'ESPCI veut travailler avec les universités qui lui ressemblent. En s'appuyant sur les réseaux des laboratoires, des accords sont négociés avec le MIT, des instituts Max Planck, Cambridge, Oxford, Nanjing University, Georgetown University... Les étudiants français trouvent lors de ces échanges une réelle plus-value pour leurs stages ou leurs études de 4^e année.

COFUND EN CHIFFRES

2,3 millions d'euros cofinancés par la Commission européenne

2,7 millions par l'ESPCI/le Fonds ESPCI ou les partenaires industriels cofinancés des projets.

1^{er} appel

107 candidatures finalisées reçues, **88** éligibles dont **33** nationalités différentes. **27** entretiens, **10** doctorants sélectionnés, dont **7** nationalités.

2^e appel

176 candidatures finalisées, **135** éligibles dont **34** nationalités différentes. **28** entretiens, **10** doctorants sélectionnés, dont **7** nationalités différentes.

3^e appel

139 candidatures finalisées, **118** éligibles dont **35** nationalités différentes. **24** entretiens, **10** doctorants sélectionnés, dont **7** nationalités différentes.

4

QUESTIONS À

= LUCIE ÉBRAN =

Manager de contrats de recherche européens

Pouvez-vous nous présenter le programme Cofund UPTO-PARIS?

Il s'agit d'un programme doctoral inscrit dans le cadre du programme de recherche et d'innovation HORIZON 2020, plus particulièrement dans les actions Marie Skłodowska-Curie, cofinancées par la Commission européenne. Un dossier de candidature a été déposé en septembre 2016 pour obtenir 30 cofinancements de bourses de thèse sur 5 ans, et le projet a été retenu en début d'année 2017.

Quel était l'objectif pour l'école ?

D'abord, augmenter le pourcentage de doctorants étrangers à l'ESPCI. Parmi les critères d'éligibilité spécifiques aux actions Marie Curie, les doctorants doivent avoir passé moins de douze mois en France durant les trois dernières années : la mobilité est au cœur du programme. Ensuite, bien sûr, obtenir des financements pour les doctorants, ce qui n'est jamais une sinécure. Et enfin, structurer convenablement un nouveau programme doctoral et un processus de sélection transparent et équitable, celui de l'école étant jusque-là assez informel. Cofund met en avant les "3I" : interdisciplinaire, intersectoriel et international, ce qui est en phase avec l'identité de l'ESPCI.

Comment s'est passé le premier appel à candidatures ?

Le projet s'articule autour de trois appels à candidatures. En janvier 2018, nous avons lancé le premier appel à candidature avec dix postes à pourvoir, il est resté ouvert pendant deux mois. Nous avons pour cela développé en interne un site web, www.upto.paris pour présenter le projet UPTO-PARIS, les sujets de thèses proposés

et le processus de candidature et de sélection (principe de transparence). Ce site dispose également d'un outil permettant le traitement des candidatures reçues. Ainsi, les candidats ont pu déposer leurs CV et dossiers en ligne. Après une phase d'éligibilité et une évaluation par deux experts externes, des entretiens sur place ont été organisés, en proposant des bourses de mobilité au besoin. 27 candidats ont été auditionnés sur place, pour en sélectionner 10 à la fin. Nous comptons bien pérenniser le système, y compris quand nous n'aurons plus le financement. Ceci s'intègre pleinement dans la démarche de labélisation HRS4R (*Human Resources Strategy for Researchers*).

Quelle est la suite ?

Nous avons finalisé le 3^e et dernier appel à candidatures. Le processus de sélection est long, (environ 6 mois). Nous mettons en place la stratégie HRS4R avec PSL pour obtenir le label, qui montrera que nous respectons les recommandations européennes en terme de recrutement et de suivi de carrières. En 2019, nous avons élaboré un état des lieux "gap analysis" des pratiques de l'ESPCI et travaillons à la mise en place d'un plan d'action pluri annuel dans cet objectif. Pour les doctorants eux-mêmes, nous travaillons avec l'association Bernard Gregory pour structurer un programme de formation en anglais de trois ans sur le développement de compétences transverses telles que le management et l'écriture de projet, la communication, la valorisation de sa carrière. Fort du succès du premier projet COFUND, l'ESPCI a candidaté à nouveau en septembre 2019. Nous travaillons également avec le Fonds ESPCI pour cofinancer le programme avec du mécénat, et les premières approches sont prometteuses.

LES PARTENARIATS

AVEC D'AUTRES UNIVERSITÉS

Les relations privilégiées qu'entretiennent les chercheurs de l'ESPCI avec de multiples laboratoires, en France et à l'étranger, ont permis de tisser un vaste réseau de partenaires académiques et scientifiques. L'école propose à ses élèves de nombreuses opportunités de doubles diplômes et d'échanges académiques, notamment à travers les doubles-diplômes : Agro ParisTech, Mines ParisTech, Sciences-Po Paris, IOGS, HEC, l'Essec, l'Institut d'Optique Graduate School, et tout récemment Isae-Supaéro.

L'école dispose en outre de partenariats avec IFP School, l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) et le Collège des ingénieurs.

Plusieurs cours de langues sont désormais mutualisés avec différentes universités de PSL. L'élargissement du panel de secondes langues vivantes proposé est en cours.

- **E+** ERASMUS
- **AE** ACCORD D'ÉCHANGE D'ÉTUDIANTS
- **DD** DOUBLE DIPLÔME D'ÉTUDIANTS
- **P** PARTENARIAT

AMÉRIQUE DU NORD

MIT (États-Unis)	P
Georgetown (États-Unis)	AE
New York University (États-Unis)	AE
École polytechnique de Montréal (Canada)	AE DD
Université McGill (Canada)	P
Université d'Ottawa (Canada)	P

FRANCE

HEC Grande École	DD	AgroParisTech	DD
ESSEC Grande École	DD	IFP School	DD
Mines ParisTech	DD	Collège des ingénieurs	P
Chimie ParisTech	DD	Sciences-Po Paris	P
IOGS	DD	Armée de terre	P
ISAE-SUPAERO	DD	Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN)	P

EUROPE

Université de Novossibirsk (Russie)	DD
Université de St-Petersbourg (Russie)	AE
Imperial College (Royaume-Uni)	P
Université de Cambridge (Royaume-Uni)	E+
Université de Ghent (Belgique)	E+
Rwth Aachen (Allemagne)	E+
Université de Vienne (Autriche)	E+
Czech Tech. Univ. Prague (Rep. Tchèque)	E+
Politechnica Warszawska (Pologne)	E+
Universidad complutense de Madrid (Espagne)	E+
Université de Santiago de Compostelle (Espagne)	E+
KTH Stockholm (Suède)	E+
Technical University of Denmark	E+
Politecnico di Milano (Italie)	E+
Université de Bologne (Italie)	E+
EPFL (Suisse)	AE
Université de Genève (Suisse)	E+

AMÉRIQUE DU SUD

Unicamp, Campinas (Brésil)	DD
UFMG (Brésil)	AE
Universidad de Sao Paulo (Brésil)	DD
Universidade Federal de Santa Catarina (Brésil)	DD
Universidade Federal de Rio Grande do Sul (Brésil)	DD
Universidade Federal de Rio de Janeiro (Brésil)	DD
UNAL (Colombie)	DD
Universidad de Los Andes (Colombie)	DD

AFRIQUE DU NORD

Ecole polytechnique d'Alger	AE
-----------------------------	----

PROCHE ORIENT

Université de Tel Aviv (Israël)	P
Université Technion (Israël)	AE
Université Saint-Joseph (Liban)	AE

ASIE

Hokkaidō University (Japon)	AE
Ochanomizu University, Tokyo (Japon)	AE
Doshisha University (Japon)	DD
Université de Tongji (Chine)	DD
Université de Pékin (Chine)	AE
Université de Shanghai Jiao Tong (Chine)	AE
Université de Nankin (Chine)	DD

The background features a dark blue gradient with several overlapping, semi-transparent circles in lighter shades of blue. Scattered throughout the composition are various white mathematical symbols, including the Greek letter rho (ρ), infinity (∞), mu (μ), phi (φ), a network node symbol, a triangle (Δ), a plus sign (+), a tilde (~), and an arrow (↗).

PATRIMOINE SCIENTIFIQUE

PRÉSERVER, PROMOUVOIR LE PASSÉ
DE L'ÉCOLE ET VULGARISER LA SCIENCE
EN TRAIN DE SE FAIRE

LA BIBLIOTHÈQUE : RENDRE ACCESSIBLE SAVOIR ET PATRIMOINE

La bibliothèque de l'ESPCI se voit confier une double mission : la documentation scientifique et technique à destination des chercheurs et des étudiants, et la conservation du patrimoine.

Avec plus de 10 000 revues électroniques en texte intégral consultables à distance, des bases de données spécialisées, 1,2 km de livres et de périodiques imprimés et de nombreux fonds historiques de grande valeur scientifique et patrimoniale, la bibliothèque de l'ESPCI remplit parfaitement ses deux missions : la documentation scientifique et technique à destination des chercheurs et des élèves, et la conservation patrimoniale, incluant la collecte et la valorisation des documents historiques. La bibliothèque est ouverte aux élèves ingénieurs, aux étudiants et aux personnels de l'ESPCI et de PSL avec des horaires désormais élargis jusqu'à 22 h.

L'imminence des travaux de rénovation de l'école a nécessité l'évacuation des magasins de stockage des périodiques : une opération complexe, qui a permis de délocaliser quelque 400 mètres linéaires de collections transférées en stockage provisoire.

La bibliothèque est membre du réseau des bibliothèques Couperin et à ce titre elle participe à plusieurs groupements de commande d'abonnements avec d'autres établissements et organismes de l'enseignement supérieur et de la recherche. Elle participe également au plan APC de Couperin qui vise à recenser les dépenses annuelles consacrées aux frais de publications pour un meilleur suivi de ces dépenses au niveau national. La bibliothèque coordonne son offre documentaire avec le pôle Ressources et Savoirs de PSL grâce à la mutualisation de plusieurs abonnements, l'organisation des journées sur la science ouverte, des formations sur les ressources documentaires, la mutualisation des outils de signalement et la numérisation des documents historiques.

COLLECTE, RESTAURATION, CONSERVATION : LES 3 EXIGENCES DU PATRIMOINE ÉCRIT

Organisé autour de grandes collections historiques, comme les fonds Paul Langevin, Georges et André Claude, Georges Champetier, Pierre Biquard ou Pierre-Gilles de Gennes, le Centre de ressources historiques (service d'archives) de la bibliothèque attire tous les ans de nombreux historiens, français ou étrangers.

Les trois dernières années, la bibliothèque a conduit plusieurs opérations de mise en valeur du patrimoine et de l'histoire de l'ESPCI : l'exposition sur les grilles *135 ans d'histoire, bâtiments et découvertes* en collaboration avec Mathilde Reyssat, maître de conférences à l'École, la journée de commémoration des 70 ans du plan Langevin-Wallon, une journée consacrée aux professeurs de l'ESPCI et du Collège de France en collaboration avec la chaire de la Littérature française, moderne et contemporaine du Collège de France (Antoine Compagnon, professeur) et la numérisation patrimoniale des archives du fonds Paul Langevin, réalisée grâce à un financement de PSL.

Parmi les actions à intérêt historique et patrimonial, il faut souligner particulièrement l'entrée définitive des archives de Paul Langevin à l'ESPCI grâce au don reçu par les descendants du savant. Ce fonds avait été transféré à l'école au début des années 1980 et depuis cette époque il a nourri de nombreux travaux de recherche en histoire des sciences et en histoire de l'enseignement. À noter également l'entrée par don de deux collections rares de périodiques sur la peinture, fruit de collaboration de Georges Champetier, directeur de l'école, spécialiste des polymères avec un éditeur français : *Travaux de peinture* (1946-1961) et *Peintures, pigments et vernis* (1924-1961).

Des travaux de reliure de conservation et de restauration sont également réalisés. Parmi ceux-ci, un lot de 100 photos sur la rénovation de l'école dans les années 1930 a ainsi pu être restauré gracieusement par l'Atelier de Restauration et de Conservation des Photographies (ARCP) de la Ville de Paris.



DU NEUF AVEC DE L'ANCIEN

La bibliothèque en elle-même est un lieu historique et emblématique de l'école, inaugurée en 1933 par Paul Langevin. Au-delà des fonds considérables qu'elle abrite, ses lambris en chêne clair, ses rayonnages et ses ouvrages de serrurerie constituent un trésor qu'il est important de conserver. Les futurs travaux prévoient de nombreuses différences de niveaux entre les planchers, de même qu'un étage supplémentaire, ce qui ne peut être obtenu sans toucher à l'enveloppe de la bibliothèque. Cette dernière sera donc entièrement démontée et en partie remontée dans les nouveaux locaux. *In fine*, grâce à de plus grandes ouvertures, la bibliothèque gagnera en luminosité.

LA COMMISSION PATRIMOINE : PRÉSERVER ET PROMOUVOIR LE PASSÉ DE L'ÉCOLE

Créée pour prévenir les risques de pertes liés aux travaux en cours, la commission Patrimoine inventorie et met en valeur les nombreux instruments scientifiques et documents anciens de l'école. Un travail de fourmi qui a permis de (re)découvrir des trésors.

Avec 135 ans d'histoire et de nombreux chercheurs illustres, rien d'étonnant si les placards de l'ESPCI renferment des centaines d'instruments anciens, documents, photos, archives... très précieux sur le plan scientifique et historique. Même si ces objets sont généralement bien conservés, ils n'avaient encore fait l'objet d'aucun inventaire exhaustif (en dehors d'une tentative au début des années 2000). Le risque de perdre nombre de merveilles au cours des prochains travaux était trop grand : une commission Patrimoine a ainsi été créée en 2017. Ses missions : inventorier les éléments intéressants, retrouver tout le savoir lié aux instruments en question (notices, publications les citant...), les référencer et réfléchir à leur valorisation dans le futur bâtiment.

D'emblée, une évidence : le fonds est considérable. Ce sont déjà plus de 700 objets qui ont été inventoriés. Certains ont été restaurés, voire remis en état et sont de nouveau fonctionnels. Plusieurs seront exposés à l'Espace des sciences ou ailleurs, en fonction des demandes de partenaires et des événements, mais beaucoup ont vocation à rester dans les laboratoires. L'idée n'est pas de transformer l'école en musée, mais d'illustrer la continuité de la recherche, en mettant côte à côte les instruments d'hier et d'aujourd'hui. Les directeurs de laboratoire deviennent garants de la conservation de ce qui trône dans leurs couloirs ou leurs salles : charge à eux de s'assurer qu'un chercheur soit toujours capable d'expliquer l'origine et le fonctionnement de l'instrument aux étudiants ou visiteurs curieux.

METTRE EN VALEUR LES INSTRUMENTS D'HIER POUR MIEUX EXPLIQUER AUJOURD'HUI

Des expositions plus classiques seront évidemment organisées. Ainsi les grilles de l'école ont accueilli en 2018 une série de posters sur les relations entre architecture et découvertes scientifiques au cours de son histoire. En partenariat avec ESPCI Alumni et le Fonds ESPCI, une exposition* sur les sciences et la guerre 1914-1918 a également été organisée pour



© Guillaume Durey

la commémoration du 11 novembre, évoquant les piles Féry (développées pour pallier le manque de ressources pour fabriquer les piles traditionnelles), les gaz de combat, la TSE, le sonar de Paul Langevin, l'arrivée des premières étudiantes en 1917 et les remous que l'événement a provoqués...

La mission principale de la commission reste de faire le lien entre passé et présent, en insistant sur la continuité. La mesure du magnétisme de Pierre Curie, dont l'expérience est exposée au sous-sol de l'Espace des sciences après restauration, est ainsi mise en relation avec la même mesure effectuée de manière moderne, à l'aide d'un système supraconducteur ainsi qu'avec les travaux les plus récents en Physique du Solide sur les matériaux topologiques. De même, la commission est impliquée dans la réflexion concernant la bibliothèque et la salle du conseil, deux lieux historiques qui seront détruits pendant les travaux.

Pour remplir ses missions, elle travaille et fait travailler ensemble plusieurs composantes : les chercheurs (qui ouvrent volontiers leurs placards et sont parfois bien surpris de ce qu'ils y trouvent), la direction, le service logistique (qui doit assurer un gros travail pour le déplacement, l'organisation des réserves...), la communication, les alumni, toujours volontaires pour mettre en valeur le passé de leur école, et les étudiants, qui ne sont pas en reste. L'association EPICS, notamment, met en scène les expériences contemporaines ou anciennes.

* E(S)PCI 14/19, une école d'ingénieur dans la Grande Guerre



LE TÉLESCOPE PYRHÉLIOMÉTRIQUE DE FÉRY

Parmi les découvertes de la commission Patrimoine, un instrument totalement oublié a été retrouvé dans un placard de l'école : le télescope pyrhéliométrique. Conçu par Charles Féry, alors professeur de l'ESPCI, et assemblé en collaboration avec le facteur d'instruments Charles Beaudouin, cet appareil a été utilisé par l'astronome Gaston Millochau lors d'une expédition au sommet du mont Blanc en 1906. L'instrument permet de mesurer la température du soleil grâce à un ingénieux dispositif à base de thermocouple. En conjuguant ainsi mesure optique et électrique, l'appareil signe tout simplement la naissance de la discipline astrophysique ! Restauré en 2018, il est désormais à l'honneur dans l'Espace des sciences à l'entrée de l'école, et a fait l'objet de plusieurs publications (*Pour la science*, *L'Astronomie et Nuncius*).

D'autres institutions sont également impliquées, comme PSL, le musée Curie ou le musée de minéralogie des Mines. Le Fonds ESPCI, la Société Française de Physique, la Société Astronomique de France et la Fondation Jean Langlois ont de leur côté apporté un soutien aux actions.

LES MEMBRES DE LA COMMISSION PATRIMOINE

- Brigitte Leridon, chercheuse CNRS en physique de la matière condensée, Présidente.
- Catherine Kounelis, responsable du centre de ressources historiques, responsable de la Bibliothèque de l'école.
- André-Pierre Legrand, professeur de l'école à la retraite, grand connaisseur du monde des instruments scientifiques.
- Mathilde Reyssat, maître de conférences à l'école.
- Denis Beaudouin, petit-neveu du facteur d'instruments des Curie, Charles Beaudouin et auteur de nombreux ouvrages sur les instruments scientifiques et leurs constructeurs.
- Guillaume Durey, doctorant (2017-2018).
- Delphine Romuald, chargée de collection (2018-2019).

ESPACE DES SCIENCES PIERRE-GILLES DE GENNES

Inauguré en 2004, l'Espace des Sciences Pierre-Gilles de Gennes constitue un lieu unique de rencontre entre le grand public et le monde scientifique, grâce à des expositions, des animations ludiques et des événements transdisciplinaires.

Imaginé par Pierre-Gilles de Gennes, alors directeur de l'ESPCI, l'Espace des sciences est un lieu d'animation grand public et un laboratoire d'innovation pour la médiation scientifique. Rebaptisé Espace des Sciences Pierre-Gilles de Gennes (ESPGG) en 2007, c'est un lieu ouvert où sont favorisés les échanges, les rencontres et les réflexions communes entre chercheurs, enseignants, élèves, journalistes, artistes et curieux de toutes sortes, où recherche et éducation ne sont pas dissociées. Recherche fondamentale et innovation y cohabitent, au croisement entre sciences, lettres, arts et société, dans un esprit de *living lab* et de *research facility*. L'ESPGG est devenu un espace ESPCI Paris et Université PSL en 2016.

DE NOMBREUX ÉVÉNEMENTS POUR TOUS PUBLICS

Destiné à la fois à valoriser le patrimoine historique de l'école et les recherches qui y sont menées et à mettre en perspective des relations sciences/technologies/société, l'ESPGG multiplie les actions destinées au grand public de tous âges. Les expositions ne sont pas là pour faire étalage d'une connaissance acquise, mais pour susciter des questions.

- Expositions temporaires et permanentes (avec notamment les instruments originaux de Pierre et Marie Curie et des reproductions à l'identique en démonstration).
- Animations scientifiques pour des publics familiaux ou scolaires. En 2018, l'espace a produit l'exposition *Sous influences : la science du choix* et l'atelier *Algorithmique*, pour explorer les intelligences artificielles, ou une exposition en partenariat avec la région Île-de-France, *Trajectoires*, dans le cadre du projet *Questions de sciences, enjeux citoyens*.
- Conférences expérimentales, retransmises sur le site de l'ESPCI et sur le portail PSL Explore.
- Séminaires sur la communication des sciences, la pédagogie, l'open science et les questions de sciences et société.
- Activités d'accompagnement de l'enseignement des sciences dans la droite ligne de *La Main à la Pâte*.
- Collaborations avec des associations étudiantes.
- Participation aux grands événements nationaux et internationaux tels que la *Nuit Européenne des Chercheurs* (soutenue par un projet Européen H2020),

les *Journées du patrimoine*, ou la *Fête de la Science* (dont l'ESPGG est coordinateur départemental).

Depuis 2011, c'est l'association TRACES (Théories et réflexions sur l'apprendre, la communication et l'éducation scientifique) qui anime l'espace. En 2018, des associations d'élèves de l'ESPCI (EPICS) ou de PSL (TREVE, *Go to Togo*) ont participé à la création des expositions et animations.

PASSER PAR L'ART

L'art est également abordé comme un outil permettant d'interroger les rapports entre science et société. L'ESPCI a réalisé plusieurs collaborations avec des artistes, souvent issus de l'École nationale supérieure des arts décoratifs (Ensad), membre elle aussi de PSL. L'exposition *+ - + : énergie, quels futurs ?* a été mise en forme par les élèves de l'association TREVE, afin d'engager les visiteurs à redécouvrir les enjeux liés au futur de l'énergie par le détour de l'art. Une collaboration avec le Théâtre de la Ville met en parallèle la pièce *Alice et autres merveilles*, à l'affiche, et une animation *Alice et autres expériences*. La troupe de comédiens et l'équipe de l'ESPGG travaillent ensemble à cette expérience dédiée à un public familial pendant les fêtes de fin d'année 2018 et 2019.

UN LIVING LAB

L'ESPGG ne s'intéresse pas qu'au grand public. Ainsi chercheurs, industriels, journalistes, enseignants, étudiants... sont également invités à s'y former, à valoriser leurs travaux, à nouer de nouvelles collaborations, à tester leurs idées d'avenir à la manière de nouveaux *living labs*. L'ESPGG propose des formations à la médiation scientifique, notamment en collaboration avec Universcience dans le cadre de l'École de la médiation Estim, des ateliers sur la réalisation des manip' innovantes, des projections-débats, des journées de réflexion/ateliers, des tables rondes et débats entre artistes, chercheurs, décideurs politiques, souvent en lien avec des événements comme le festival *Quartier du livre*. L'ESPGG est également impliqué dans plusieurs projets européens sur l'éducation et la culture scientifique (4 en 2018), et engagé dans des activités de vulgarisation des projets de recherche des établissements PSL.

SCIENCE FRUGALE REÇOIT UN PRIX

En 2017, les visiteurs de l'exposition *Science frugale* ont pu découvrir comment, à travers la récupération et le détournement d'objets technologiques et avec un peu de créativité, il était possible de réaliser des instruments scientifiques performants et très économiques. Stimulateur de créativité pour les chercheurs, essentielle pour les pays défavorisés, l'approche science *frugale* est une façon de croiser recherche scientifique, esprit *maker* et coopération internationale. L'exposition, constituée par les objets créés par le public et les chercheurs au cours d'ateliers, a reçu le prix *Smart and Simple* des ECSITE - Mariano Gago Awards, récompense internationale de la muséographie des sciences.

EXPOSITION EN INCUBATION

Lancée en septembre 2018, l'exposition *Sous influences : la science du choix a été coconstruite* avec son public. Celui-ci a été invité à prendre position, trancher, voter en fonction des thématiques exposées. Les événements ont participé ainsi à l'élaboration et l'enrichissement du contenu de l'exposition. Elle a obtenu le soutien de la Région Ile-de-France.

EN 2018

5 événements par
mois en moyenne

+ 120 chercheurs
impliqués

8 animations par
semaine en moyenne

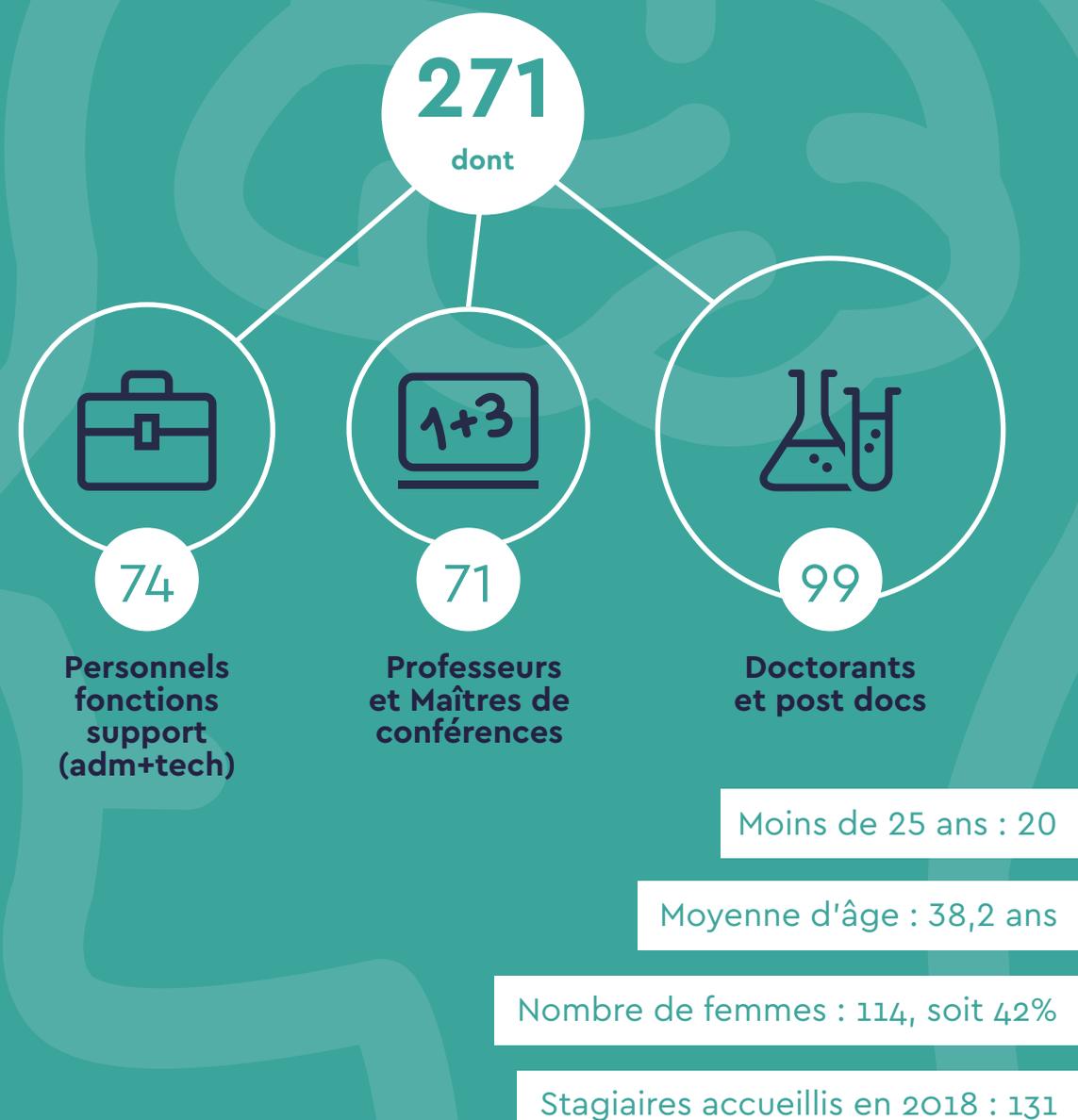
+ 13 000
visiteurs

RESSOURCES ET GOUVERNANCE

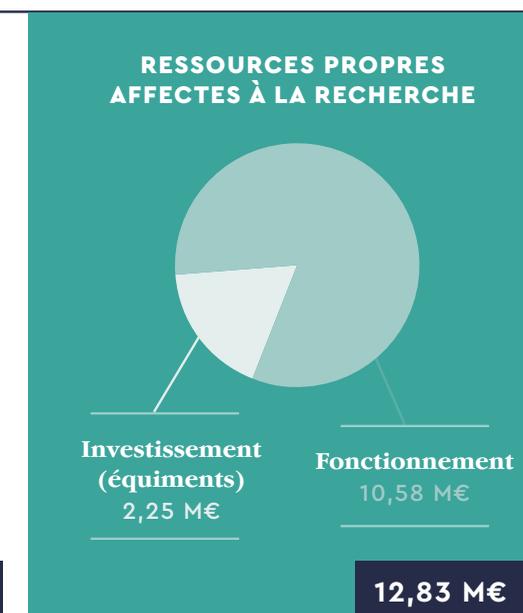
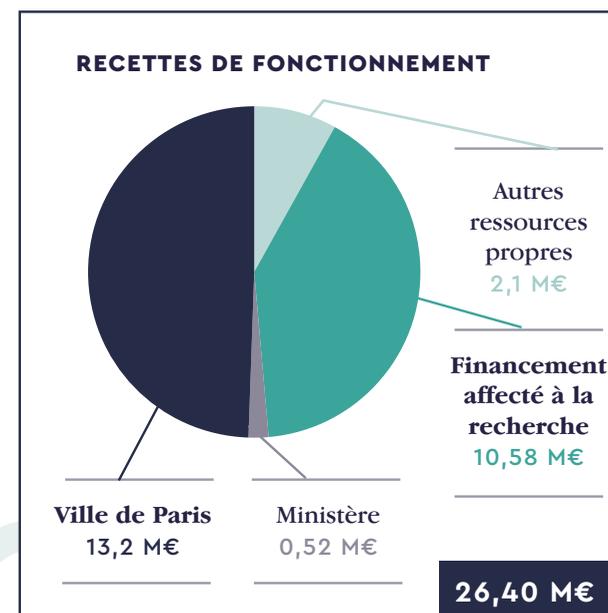
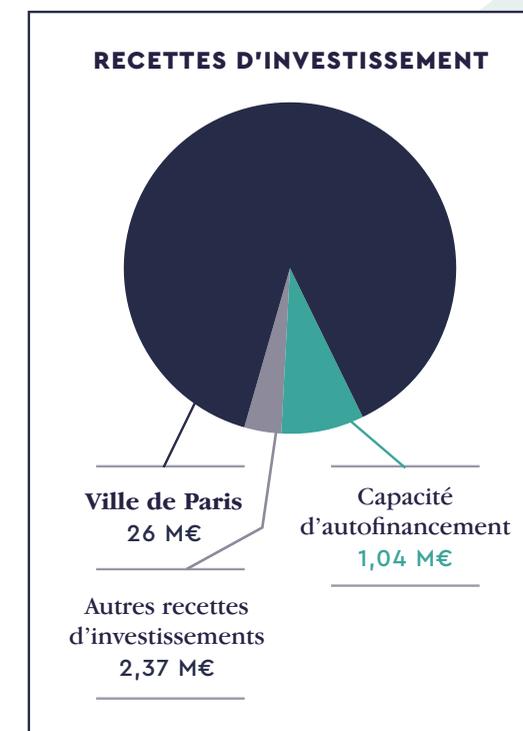
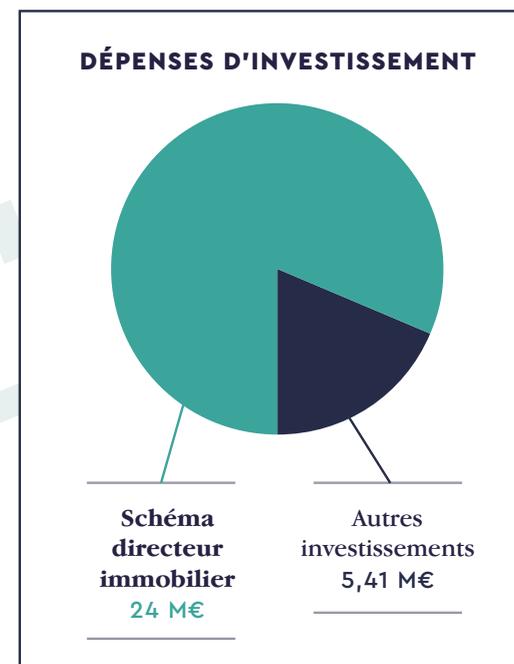
DISPOSER D'UN MODÈLE FLEXIBLE
ET AUTONOME

PERSONNEL ESPCI 2018

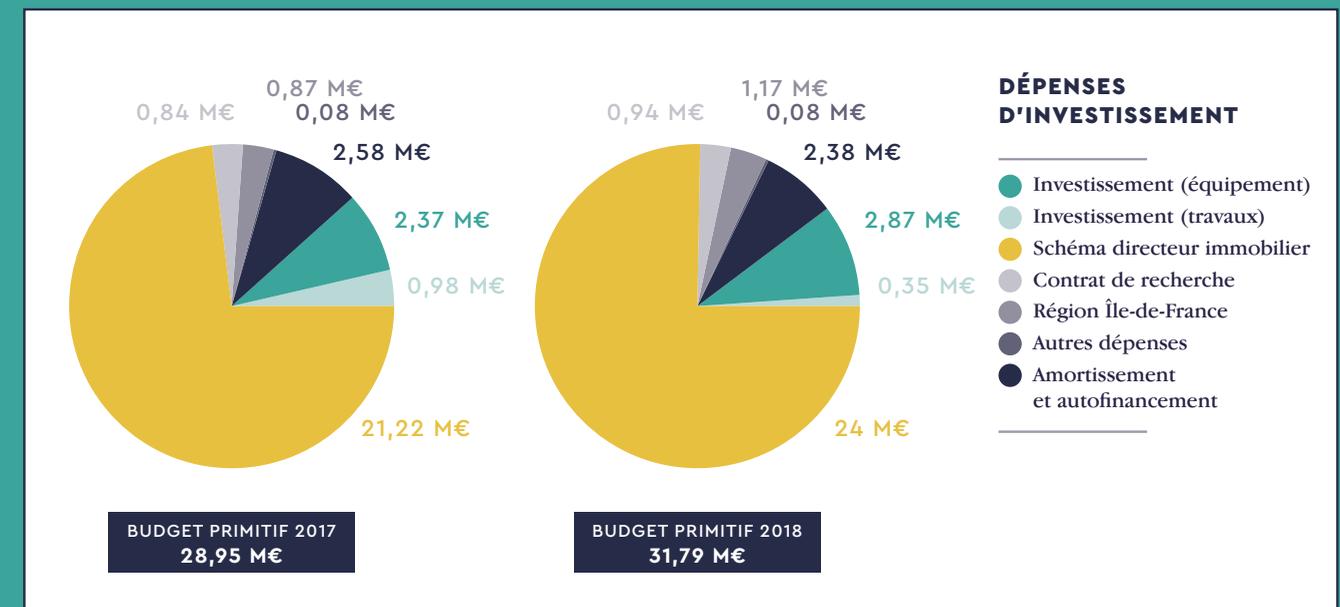
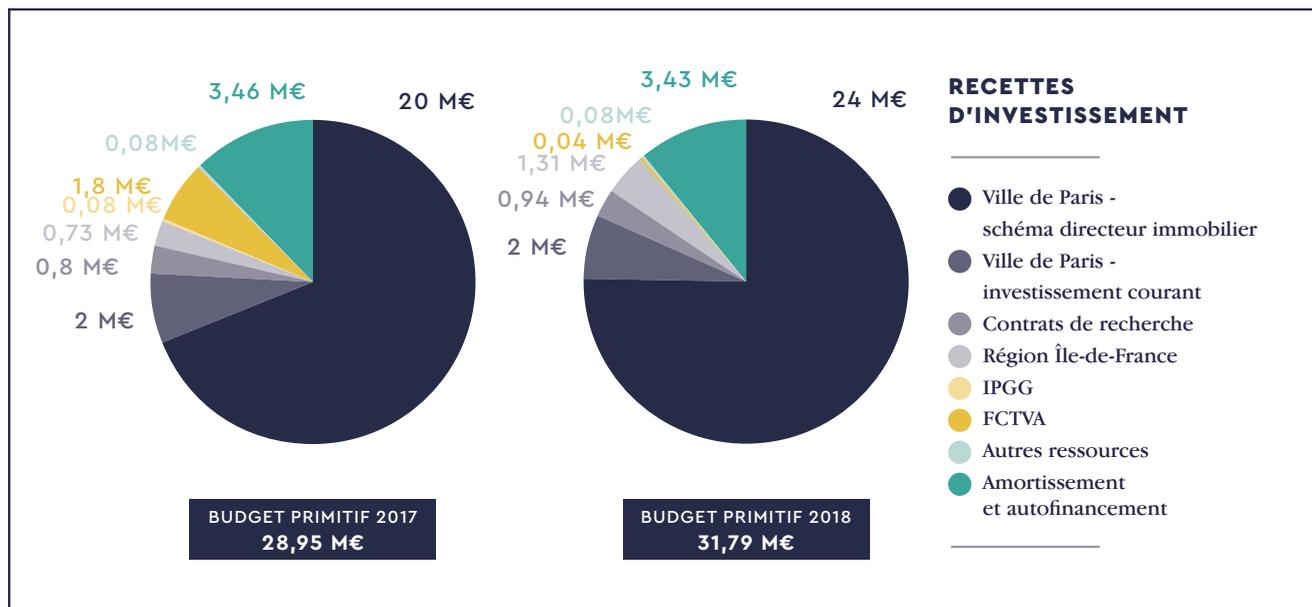
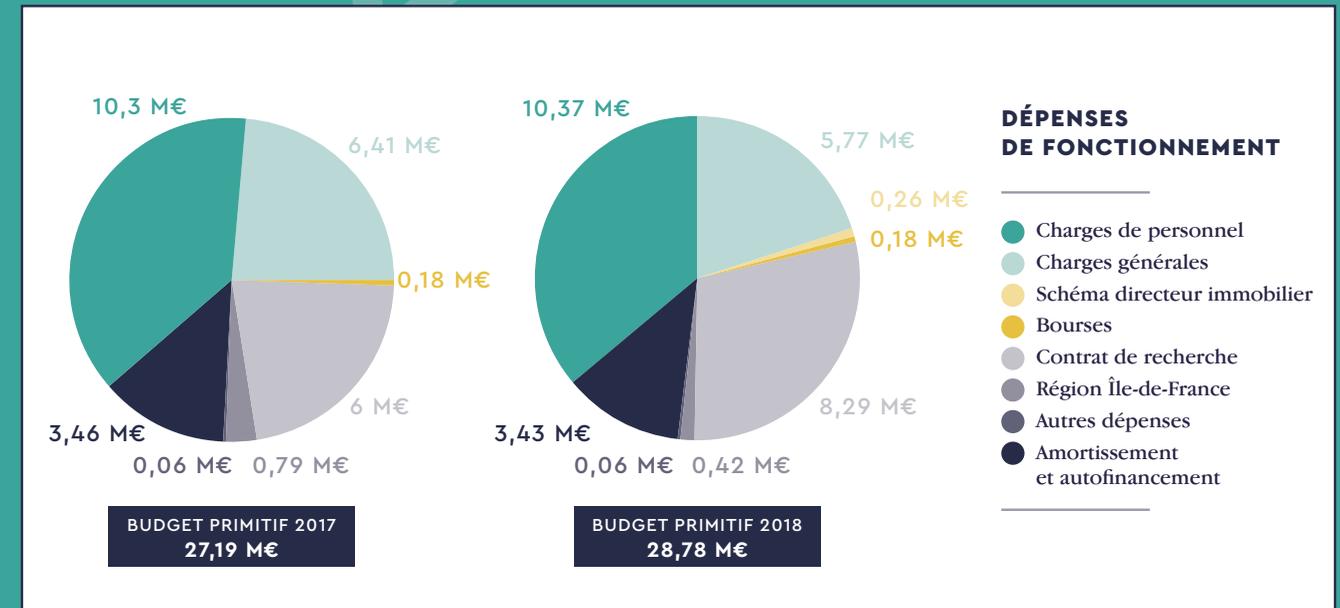
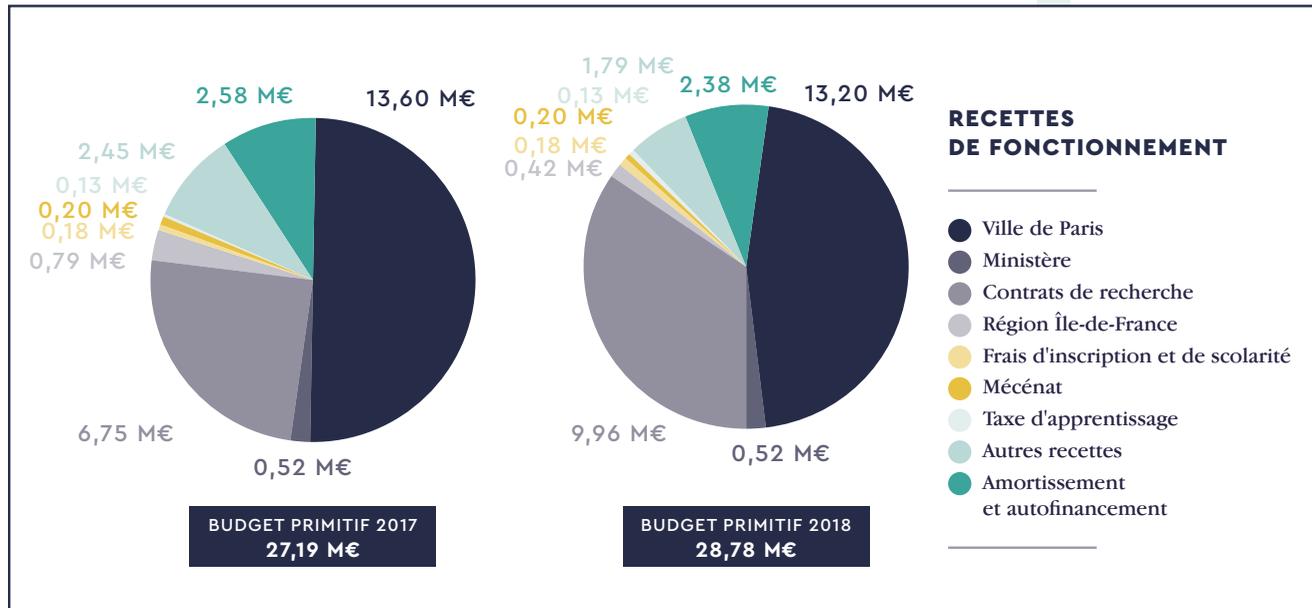
Nombre de salariés ESPCI



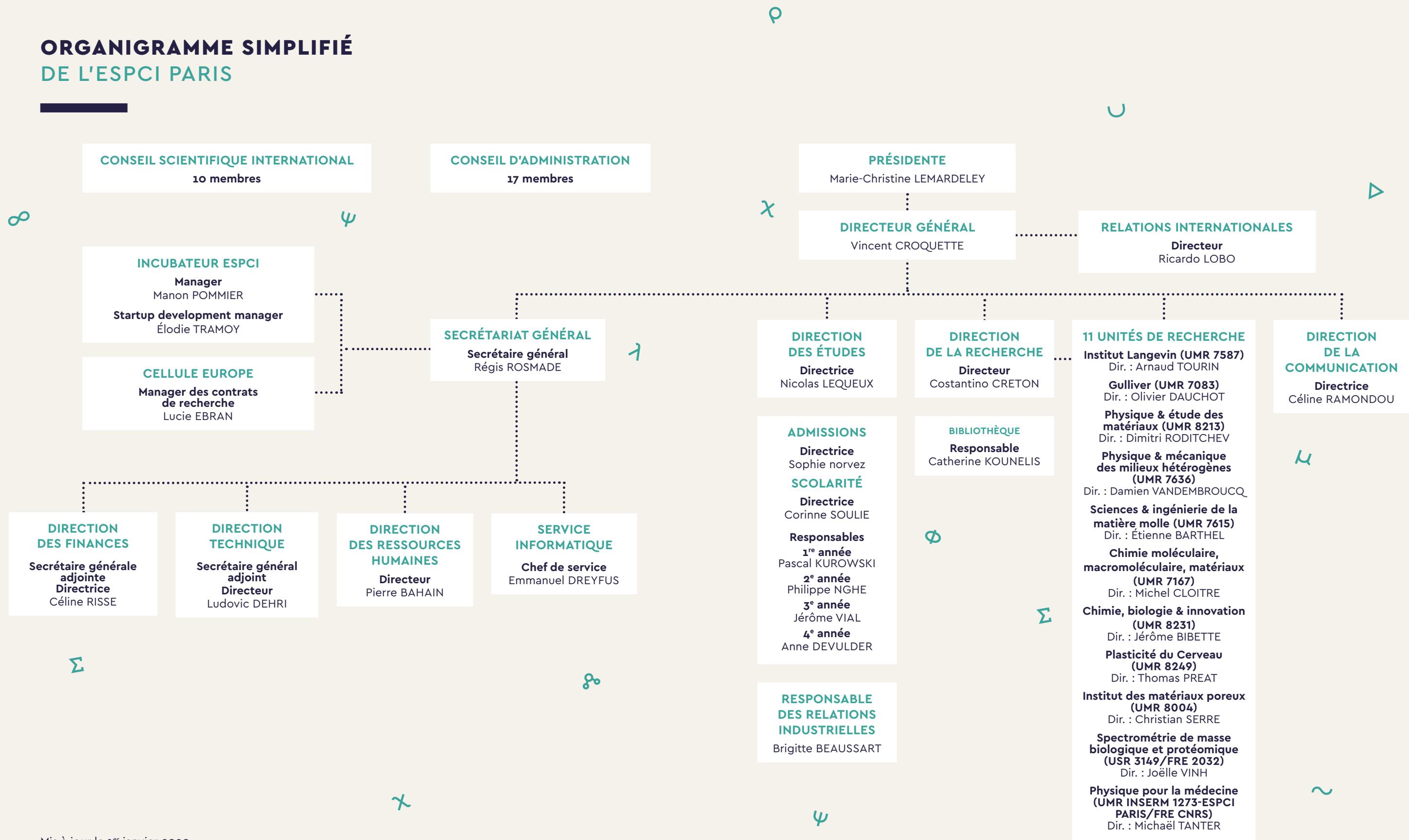
CHIFFRES CLÉS 2018



BUDGET 2017-2018



ORGANIGRAMME SIMPLIFIÉ DE L'ESPCI PARIS



LE CONSEIL D'ADMINISTRATION

LA PRÉSIDENTE DE L'ESPCI PARIS

Mme Marie-Christine Lemardeley

- Adjointe à la Maire de Paris, chargée de toutes les questions relatives à l'enseignement supérieur, la vie étudiante, la recherche
- Conseillère de Paris
- Conseillère du 5^e arrondissement

CONSEILLER DE PARIS

Mme Florence Berthout

- Conseillère de Paris
- Maire du 5^e arrondissement

M. Patrick Bloch

- Adjoint à la Maire de Paris, chargé de toutes les questions relatives à l'éducation, à la petite enfance et aux familles
- Conseiller de Paris
- Conseiller du 11^e arrondissement

Mme Sandrine Charnoz

- Conseillère déléguée chargée des questions relatives à la petite enfance auprès de l'adjoint à la Maire chargé de toutes les questions relatives à l'éducation, à la petite enfance et aux familles
- Conseillère de Paris
- Conseillère du 12^e arrondissement

M. Yves Contassot

- Conseiller de Paris
- Conseiller du 13^e arrondissement

Mme Béatrice Lecouturier

- Conseillère de Paris
- Conseillère du 16^e arrondissement
- Déléguée auprès de la Maire du 16^e arrondissement chargée de l'enseignement supérieur

M. Franck Lefèvre

- Docteur-ingénieur à la Direction générale de l'armement (DGA)
- Conseiller de Paris
- Conseiller du 15^e arrondissement

M. Jean-Louis Missika

- Adjoint à la Maire de Paris, chargé de toutes les questions relatives à l'urbanisme, l'architecture, aux projets du Grand Paris, au développement économique et à l'attractivité
- Conseiller de Paris
- Conseiller du 12^e arrondissement

M. Paul Simondon

- Conseiller de Paris
- Conseiller du 10^e arrondissement
- Délégué dans le 10^e arrondissement à l'urbanisme, à l'espace public, aux déplacements et à la propriété

REPRÉSENTANTS D'ORGANISMES EXTÉRIEURS

Mme Rachel-Marie Pradeilles-Duval

- Sous-directrice des formations et de l'insertion professionnelle
- Représentant le ministre en charge de l'enseignement supérieur

M. Angela Marinetti

- Directrice de recherche CNRS

M. Jean-Pierre Lecoq

- Conseil régional
- Représentant le Président du Conseil régional d'Ile de France

M. Jean Chambaz

- Président de Sorbonne Université
- Professeur de biologie cellulaire à la faculté de médecine Pierre-et-Marie-Curie

M. Christian Lerminiaux

- Président de ParisTech Développement
- Directeur de Chimie ParisTech

Mme Catherine Langlais

- Directrice adjointe Recherche & Développement du groupe Saint-Gobain
- Représentant l'entreprise confiant des travaux de recherche à l'ESPCI Paris

M. Éloi Vincent

- Président élu du Bureau des élèves (BdE)
- Élève-ingénieur de la 137^e promotion (2^e année)

M. Sylvain Gilat

- Président élu d'ESPCI Alumni
- Liste des personnes invitées avec voix consultative

LISTE DES PERSONNES INVITÉES AVEC VOIX CONSULTATIVE

M. Vincent Croquette

- Directeur général de l'ESPCI Paris

Mme Véronique Bellosta

- Directrice de l'enseignement de l'ESPCI Paris

M. Costantino Creton

- Directeur de la recherche de l'ESPCI Paris

M. Régis Rosmane

- Secrétaire général de l'ESPCI Paris

INVITÉ PERMANENT

M. Alain Fuchs

- Président de l'Université PSL

GROUPES D'EXPERTS

M. Nicolas Lequeux

- Professeur ESPCI dans l'Unité de recherche de physique et d'étude des matériaux
- Représentant du corps enseignant

Mme Mathilde Reyssat

- Maître de conférences dans l'Unité de recherche Gulliver
- Représentante du corps enseignant

M. Camille Sauvage

- Représentant des personnels administratifs et techniques

M. Sébastien Guillet ou M. Adrien Bertolo

- Élève-ingénieur de la 134^e promotion
- Représentant des élèves-ingénieurs de 4^e année

Mme Line Holtzer ou M. Elias Abdelnour

- Élève-ingénieur de la 135^e promotion
- Représentante des élèves-ingénieurs de 3^e année

Mme Valentine Rollot ou Mme Ellyn Redheuil

- Élève-ingénieur de la 136^e promotion
- Représentante des élèves-ingénieurs de 2^e année

M. Malo Velay ou M. Cédric Léau

- Élève-ingénieur de la 137^e promotion
- Représentant des élèves-ingénieurs de 3^e année

LES MEMBRES DU CHSCT

Yacine Oussar, titulaire UCP-UNECT

Christian Beaugrand, titulaire, UCP-UNECT

Devulder Anne, suppléant UCP-UNECT

Camille Sauvage, titulaire FO

Gilles GARNAUD, suppléant FO



UN CONSEIL SCIENTIFIQUE D'ENVERGURE INTERNATIONALE

L'ESPCI Paris s'est dotée depuis 2007 d'un Conseil scientifique international (CSI) qui présente annuellement au Conseil d'administration une analyse écrite de l'activité d'enseignement et de recherche et des propositions d'orientations.

Les membres du CSI sont nommés pour un mandat de 6 ans, renouvelable. L'ESPCI Paris fait ainsi partie des quelques institutions d'enseignement supérieur et de recherche qui ont su réunir une équipe d'envergure exceptionnelle, capable de mener une réflexion globale et prospective sur les grandes orientations des politiques scientifique et pédagogique de l'institution.

PRÉSIDENT

Prof. Michael Cates

- **Lucasian Professor of Mathematics at the University of Cambridge**
- **Fellow of the Royal Society (FRS)**
- **Fellow of the Royal Society of Edinburgh (FRSE)**

Physicien théoricien de la matière molle, Mike Cates est réputé pour ses travaux sur les polymères, les colloïdes, les tensioactifs, les suspensions de bactéries et les milieux granulaires.

MEMBRES ISSUS DU MILIEU ACADÉMIQUE

Prof. Jian Ping Gong

- **Professor at the Laboratory of Soft & Wet Matter at Hokkaido University, Sapporo (Japan)**

Spécialiste des polymères et des matériaux nouveaux à base de polymères (hydrogels, etc.), Jian Ping Gong étudie les propriétés physiques et biologiques de ces matériaux innovants.

Prof. Laura H. Greene

- **Physics professor at Florida State University**
- **Chief Scientist at the National High Magnetic Field Laboratory**
- **Professor of physics at the University of Illinois at Urbana-Champaign**

Expérimentatrice en physique de la matière condensée, Laura Greene s'intéresse aux systèmes d'électrons fortement corrélés et aux nouveaux matériaux.

Prof. Hui Cao

- **Université de Yale (Connecticut, USA)**
- Spécialiste d'optique et photonique

Prof. Ben Feringa (prix Nobel)

- **Université de Groningen (Pays-Bas)**

Prix Nobel de chimie en 2016 pour ses travaux sur la conception et la synthèse de machines moléculaires.

Travaille dans le domaine des nanotechnologies et la chimie organique de synthèse.

Prof. Krzysztof Matyjaszewski

- **Carnegie Mellon University (Pennsylvanie, USA)**
- **Spécialiste mondialement reconnu de la synthèse des polymères**

Prof. Bruno Weber

- **Université de Zurich (Suisse)**
- **Spécialiste de l'imagerie dans les neurosciences**

MEMBRES ISSUS DU MILIEU INDUSTRIEL

Dr. Armand Ajdari

- **Vice-président recherche & développement de Saint-Gobain (France)**

Dr. Éric Carreel

- **Président-fondateur des sociétés Inventel, Invoxia, Sculpteo & Withings (France)**

Dr. Helen Routh

- **Advisor to hospital/academia/industry partnerships & startups ; former Senior Vice President, Strategy & Innovation, Royal Philips**

UN CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT POUR SUIVRE L'ÉVOLUTION DES FORMATIONS

Le Conseil de perfectionnement a pour mission de formuler des avis qui sont transmis au Directeur général et au Conseil scientifique international sur toutes les questions relatives à l'enseignement, notamment celles intéressant l'évolution des programmes.

Il comprend :

- 6 représentants du Conseil des enseignants (3 professeurs et 3 maîtres de conférences), élus par leurs pairs et renouvelables par tiers (un professeur, un maître de conférences) tous les quatre ans ;
- 6 représentants des élèves-ingénieurs (au moins un par année d'étude), élus par leurs pairs parmi les 4 promotions présentes à l'École ;
- 8 membres extérieurs (4 personnalités issues du milieu industriel et 4 issues du milieu académique), nommés pour quatre ans par le Directeur général, sur proposition de la Directrice de l'enseignement.

MEMBRES EXTÉRIEURS

Personnalités issues du milieu industriel

Mme Dominique Baude

- **Directrice de projet Nouveaux Produits chez Essilor International**

M. Erwoan Pezron

- **100^e promotion ESPCI**
- **ARKEMA, Global Group President, Technical Polymers**

Mme Bernadette Charleux

- **Directrice adjointe de la recherche & du développement chez Saint-Gobain**

M. Bertrand Demotes-Mainard

- **Directeur de Thales Research & Technology (TRT)**
- **Personnalités issues du milieu académique**

M. Sergio Ciliberto

- **Directeur de recherche CNRS au Laboratoire de physique de l'École normale supérieure de Lyon**
- **Président du Conseil de perfectionnement**

Mme Agnès Benassy-Quéré

- **Professeur à l'université Panthéon-Sorbonne**
- **Présidente du Conseil d'analyse économique (CAE)**

M. Ludovic Jullien

- **Professeur à l'UPMC et au département de chimie de l'École normale supérieure de Paris**

Mme Christine Petit

- **Professeur au Collège de France**
- **Directrice de l'unité de génétique et physiologie de l'audition (Institut Pasteur)**

REPRÉSENTANTS DU CONSEIL DES ENSEIGNANTS

Mme Annie Colin

- **Professeur au laboratoire Chimie, Biologie, Innovation**

M. André Klarsfeld

- **Professeur au laboratoire de Plasticité du Cerveau**

M. Marc Fermigier

- **Professeur au laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes**

M. José Bico

- **Maître de conférence au laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes**

Mme Alice Pavlowsky

- **Maître de conférences au laboratoire de Plasticité du Cerveau**

M. Jérôme Vial

- **Maître de conférences au laboratoire de Chimie, Biologie, Innovation**

La Directrice des Etudes (Véronique Bellosta) et les responsables d'année (Sophie Pezet 1A, Nicolas Lequeux 2A, Philippe Nghe 3A, Anne Devulder 4A) siègent également au Conseil de perfectionnement. D'autres experts extérieurs peuvent aussi être appelés à siéger si besoin est.

9



S

u

S

ESPCI  PARIS | PSL 

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE
INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS

10, rue Vauquelin, 75231 PARIS CEDEX 05
+ 33 1 40 79 44 00

espci.psl.eu   

