



RAPPORT D'ACTIVITÉ 2020



« Données et processus ». Deux exemples de travaux aboutis en 2020, au sein du département Sciences de la Terre et de l'environnement, ont inspiré la couverture de ce rapport d'activité (voir p.20).

ÉDITORIAL	P. 05
STRATÉGIE ET VALEURS	P. 06
UNE AMBITION RÉAFFIRMÉE	P. 08
MINES PARISTECH EN BREF	P. 09
RÉTROSPECTIVE 2020	P. 10

EXCELLENCE SCIENTIFIQUE

ENTRETIEN AVEC YANNICK VIMONT	P. 12
PRIX ET RÉCOMPENSES	P. 14
ENTREPRENEURIAT ET RELATIONS ENTREPRISES	P. 16
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT	P. 18
ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS	P. 22
MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX	P. 26
MATHÉMATIQUES ET SYSTÈMES	P. 30
ÉCONOMIE, MANAGEMENT ET SOCIÉTÉ	P. 34

ACCOMPAGNER L'INGÉNIEUR ET LE CHERCHEUR DU FUTUR

ENTRETIEN AVEC FRÉDÉRIC FONTANE	P. 38
CYCLE INGÉNIEUR CIVIL	P. 40
MASTÈRES SPÉCIALISÉS	P. 42
FORMATION CONTINUE	P. 43
DOCTORAT	P. 44
CORPS DES MINES	P. 45

RAYONNER AU-DELÀ DE NOTRE SPHÈRE

À L'INTERNATIONAL	P. 48
RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE	P. 50
MIXITÉ SOCIALE - SOLIDARITÉ	P. 52

SE DÉPLOYER POUR RELEVER LES DÉFIS DE DEMAIN

UNE ORGANISATION DYNAMIQUE	P. 54
MOYENS FINANCIERS	P. 55
EFFECTIFS	P. 56
CONSEIL D'ADMINISTRATION	P. 58
ORGANIGRAMME	P. 60

ÉDITORIAL

« Pour la première fois, les classements internationaux, dont celui dit « de Shanghai », nous classent dans les 50 meilleures universités mondiales. »



J. ASCHENBROICH

PDG DE VALEO
PRÉSIDENT DU CA DE MINES PARISTECH



V. LAFLÈCHE

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE MINES PARISTECH

« L'École s'inscrit dans une dynamique tout à fait passionnante ; elle le doit à l'enthousiasme et l'excellence de ses étudiants et à la passion de l'ensemble de ses personnels et de ses enseignants-chercheurs. »

Une extraordinaire résilience à la crise sanitaire

L'année 2020, ainsi que le premier semestre 2021, ont été, bien entendu, marqués par la crise sanitaire. L'extrême résilience constatée lors de la première vague s'est confirmée depuis. Grâce à la mobilisation de nos alumni, les stages et césures se sont tenus, certes avec des séjours internationaux plus courts, mais il n'y a pas eu d'impact sur le calendrier des diplomations, ni sur la rapidité d'accès à l'emploi de l'ensemble de nos étudiants. La mobilisation des personnels et des enseignants-chercheurs est restée exceptionnelle. La montée en puissance des outils mis en place par PSL a joué un rôle clé – que ce soit pour réaliser des tests PCR ou partager les expériences pédagogiques.

Depuis la mi-août 2020, aucun cas de transmission du virus au sein des différentes implantations de l'École n'a été constaté, ni même suspecté. Le respect des gestes barrières et un très grand sens des responsabilités – tant des personnels que des étudiants –, expliquent ce résultat dont l'École peut être fière. Des cours en présentiel et l'activité de recherche expérimentale n'ont jamais été interrompus depuis mi-août 2020. L'École s'est mobilisée pour faciliter au maximum la vie étudiante ; avec trois mois de décalage, la « Petite Revue » 2020 s'est tenue.

Le déploiement du nouveau cycle ingénieur se poursuit avec succès

L'année scolaire 2020-2021 connaît le déploiement de la seconde année du nouveau cycle Ingénieur civil (IC), mis en place depuis septembre 2019. Celui-ci ne comprend plus de cours en tronc commun, il favorise le travail en groupe, lors de trimestres « recherche » ou « ingénieur » ou « entrepreneuriat », selon le choix des élèves. Cette grande modularité a contribué à la résilience de cette formation ; son succès tient à la formidable implication de nos centres de recherche et à l'accueil de premiers « trimestres recherche » par d'autres établissements de PSL. Les profes-

seurs témoignent également d'étudiants mieux préparés à ce travail collectif, grâce à la refonte de la première année.

Entre les trimestres organisés par nos centres de Sophia Antipolis pour nos 2A et les MIG (découverte du métier d'ingénieur) pour nos 1A, ce sont plus de 70 étudiants du cycle IC qui se sont retrouvés à Sophia Antipolis, en présentiel, en novembre 2020. Soit, l'équivalent d'une promotion il n'y a pas si longtemps que cela. Sophia Antipolis et ses personnels ont démontré leur capacité de mobilisation pour accompagner le développement de notre École.

L'École a fortement contribué aux réflexions sur la formation de la haute fonction publique (rapport Thiriez) ; les premières formations pilotes communes entre l'ENA et la formation du Corps des mines ont été réalisées en début d'année 2021.

Une recherche qui conjugue l'excellence académique, personnalisée par PSL, et nos partenariats industriels

Le Centre automatique et systèmes (CAS) a obtenu deux bourses de l'ERC (*European Research Council*) en l'espace d'un an. Après Zaki Legthas, en 2019, c'est Pierre Rouchon dont l'excellence a été reconnue, en 2020. C'est l'excellence de notre École et sa contribution au « quantique » qui sont ainsi saluées ; cette réussite illustre la richesse des partenariats historiques avec l'ENS - PSL.

La médaille d'argent du CNRS, décernée à Tatiana Budtova du CEMEF, vient couronner 20 années de recherches fécondes sur les bio-aérogels.

La crise sanitaire n'a pas impacté, en 2020, le niveau très important de notre recherche partenariale avec les entreprises. La poursuite de notre chaire de mécénat « Théorie de l'entreprise. Modèles de gouvernance et création collective », menée avec la Fondation Mines ParisTech, illustre également les attentes très fortes de nos partenaires sur des sujets de société. De nouveaux modèles de gouvernance, comme « la société à mission », permettent aux entreprises d'intégrer dans leurs statuts un objectif d'ordre social ou environnemental.

La crise sanitaire, puis économique, a touché nombre de nos partenaires, en particulier dans les domaines des transports ou de l'énergie. Cela s'est malheureusement traduit par une baisse du nombre de doctorants recrutés en 2020 sur contrats industriels. L'École est mobilisée, à leurs côtés, pour monter des projets de recherche et de formation par la recherche, dans le cadre des plans de relance. C'est important pour l'industrie, c'est également un sérieux point de vigilance pour notre activité de recherche à l'horizon 2022.

La reconnaissance de PSL bénéficie à l'École au niveau international. PSL soutient nos projets immobiliers de rénovation et développement

Notre université PSL a franchi une étape décisive en 2020, avec la reconnaissance par le Gouvernement de son statut d'excellence. Pour la première fois, les classements internationaux, dont celui dit « de Shanghai », nous classent tous dans les 50 meilleures universités mondiales.

La stratégie de l'École, adoptée en 2017, prévoyait plusieurs projets immobiliers d'envergure. L'implantation à Versailles Satory du Centre des matériaux d'Évry et du Centre efficacité énergétique des systèmes de Palaiseau, ainsi que de certaines activités du Centre de robotique, sera effective en 2024, grâce au soutien du Conseil départemental des Yvelines, à hauteur de 92 M€. Un projet d'extension de Sophia Antipolis (6 M€) devrait se concrétiser dans le cadre du CPER, grâce au soutien des collectivités locales et de l'Université Côte-d'Azur.

L'École a obtenu un financement (18 M€) d'une première tranche du projet « Grand Quartz », dans le cadre du Plan de relance. Dans le cadre du CPER d'Île-de-France, PSL porte plusieurs projets pour son campus parisien, dont le projet Grand Quartz en complément des financements déjà obtenus. L'École s'inscrit, au sein de PSL, dans une dynamique tout à fait passionnante ; elle le doit à l'enthousiasme et l'excellence de ses étudiants et à la passion de l'ensemble de ses personnels et de ses enseignants-chercheurs.

2020 : L'ACTUALISATION DE LA STRATÉGIE

Comment accélérer, préciser ou concrétiser nos axes stratégiques ?

En 2017, le Conseil d'administration avait adopté 5 axes majeurs :

- Devenir un leader international en ingénierie et management dans les domaines de l'innovation et de l'entrepreneuriat, de la transition énergétique et de matériaux pour des technologies plus économes, des mathématiques et ingénierie numérique pour la transformation de l'industrie, y compris la santé.
- Former des futurs dirigeants et scientifiques qui soient porteurs de sens...
- ... et les accompagner tout au long de leur carrière.
- Savoir motiver, tirer vers l'excellence et accueillir des étudiants de toutes origines.
- Être un lieu d'échanges et d'ouverture sur la société.

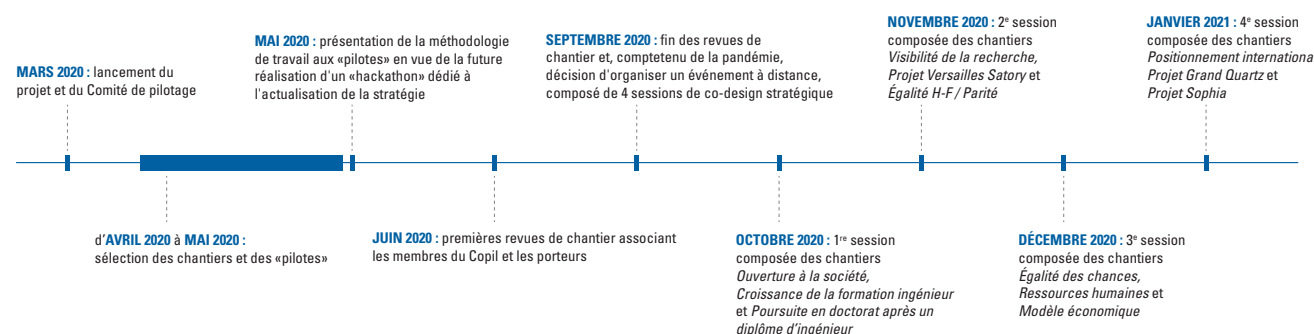
En 2020, un effort d'actualisation s'est avéré nécessaire pour détailler et confronter ces axes aux problématiques les plus concrètes de l'établissement. Et c'est sous le signe du travail collectif qu'un comité de pilotage « Stratégie » est constitué, dès mars 2020, autour de Vincent Laflèche, impliquant Frédéric Fontane, Nadia Maïzi, Jérôme Crépin, Yannick Vimont et Hélène Le Du.

Objectif : l'organisation d'un événement propice à la réflexion, impliquant les publics internes et externes de l'École.

La crise sanitaire provoquée par la pandémie de Covid-19 survient, mais le projet progresse et, comme un chemin qui se trace, il se concrétise... en se dématérialisant. Entre temps, des chantiers sont ouverts, une méthode de travail est adoptée. Sujets stratégiques et sujets « supports » se côtoient et se mêlent aux axes recherche et enseignements.

13 pilotes, choisis au sein de l'établissement, explorent et préparent les chantiers suivants, en lien avec le comité de pilotage.

- Développement de la formation Ingénieur : Damien Goetz (professeur, Géosciences)
- Poursuite en doctorat après un diplôme d'ingénieur : Nicolas Petit (professeur et directeur du Centre automatique et systèmes)
- Ouverture à la société : Brice Laurent (chargé de recherche, Centre de sociologie de l'innovation)
- Projet Satory : Arnaud Delebarre (professeur, Centre thermodynamique des procédés)
- Visibilité de la recherche : Valérie Archambault (directrice-adjointe de la recherche en charge des partenariats industriels)
- Ressources humaines : Franck Aggeri (professeur, Centre de gestion scientifique)
- Parité Homme / Femme : Sandrine Seloise (chargée de recherche, Centre de mathématiques appliquées) et Béatrice Rocher (responsable Relation entreprises et préparation à l'emploi, direction de l'Enseignement)
- Égalité des chances : Yvon Gaignebet (professeur, direction de l'Enseignement)
- Modèle économique : Yannick Vimont (directeur-délégué, chargé de la Recherche)
- Projet Grand Quartz : Catherine Lagneau (directrice-déléguée, chargée de la formation du Corps des mines et déléguée de Paris)
- Projet Sophia : François Cauneau (maître de recherche, délégué du site de Sophia Antipolis)
- Positionnement international : Matthieu Mazière (professeur et directeur des Études)
- Valeurs : Franck Guarnieri (directeur de recherche et directeur du Centre de recherche sur les risques et les crises)



CO DESIGN STRATÉGIQUE

RÉINVENTONS L'ÉCOLE DE DEMAIN
ÉVÉNEMENTS EN LIGNE

13 chantiers d'actualisation de la stratégie de l'École

9 OCTOBRE 2020 DE 14H À 16H30 Ouverture à la société Brice Laurent Développement de la formation ingénieur Damien Goetz Poursuite en doctorat après un diplôme d'ingénieur Nicolas Petit	11 DÉCEMBRE 2020 DE 10H À 12H30 Égalité des chances Yvon Gaignebet Ressources humaines Franck Aggeri Modèle économique Yannick Vimont
13 NOVEMBRE 2020 DE 14H À 16H30 Visibilité de la recherche Valérie Archambault Projet Versailles Satory Arnaud Delebarre Egalité H-F / Parité Béatrice Rocher et Sandrine Selosse	22 JANVIER 2021 DE 14H À 16H30 Positionnement international Matthieu Mazière Projet Grand Quartz Catherine Lagneau Projet Sophia François Cauneau

Reformulation des projets, définition des enjeux et du contexte, retours d'experts internes et externes, lien avec la stratégie 2017, planning... De mars à septembre, une méthode et un suivi rigoureux permettent d'élaborer questions et scénarios associés. De quoi créer les conditions d'un travail collectif fécond, propice à l'efficacité. À l'automne, les chantiers sont mûrs et une série d'événements collectifs se profilent. Il est décidé que le chantier « Valeurs », transverse, fasse l'objet d'une présentation au cours de la session de janvier 2021.

QUATRE SESSIONS DE CO-DESIGN STRATÉGIQUE

Avec les confinements successifs, le logiciel de réunion à distance Zoom est devenu familier : il sera logiquement mis à profit pour construire quatre sessions de co-design, programmées d'octobre 2020 à janvier 2021. D'une durée de 2h30 et très structurées, chacune d'elles traite simultanément trois chantiers. Y alternent des séquences en séance plénière et des temps d'échange en petits effectifs, animés par trios réunissant un pilote et deux co-animateurs - souvent des élèves et des anciens - intéressés par les sujets.

La participation est très ouverte : des alumni aux agents, en passant par les enseignants-chercheurs, toutes les catégories de personnels et d'amis de l'École sont invitées à s'inscrire.

Au final, environ 300 personnes, toutes volontaires, se réunissent pour échanger le temps de ces quatre temps forts. Le temps est maîtrisé et les sessions rythmées de sorte qu'une brève restitution orale de chaque chantier est partagée en fin de session.

Les retours d'expérience des premières sessions sont

très positifs. Petit bémol : le temps de discussion est jugé trop bref. Pour gagner du temps, les restitutions orales sont livrées par chantier et non plus partagées avec tous les participants d'une session.

Bénéfice immédiat : 20 minutes d'échanges supplémentaires. Un document écrit, aussi synthétique et exhaustif que possible, est ensuite rédigé et partagé avec l'ensemble des participants.

Questions traitées

- 1 - Quels objectifs de croissance pour la formation d'ingénieurs à l'École ?
- 2 - Comment diversifier les recrutements, tout en maintenant ou améliorant la sélectivité, en France et à l'international ?
- 3 - Quelle stratégie de doubles diplômes ou de formations complémentaires ? Avec quels partenaires ?

ET APRÈS ?

En 2021, des sessions de restitution, toujours en ligne, seront organisées afin de partager le plus largement possible les conclusions de chaque chantier. Dans un second temps, une session de travail avec les administrateurs est également envisagée. À suivre...

MINES PARISTECH

UNE AMBITION RÉAFFIRMÉE

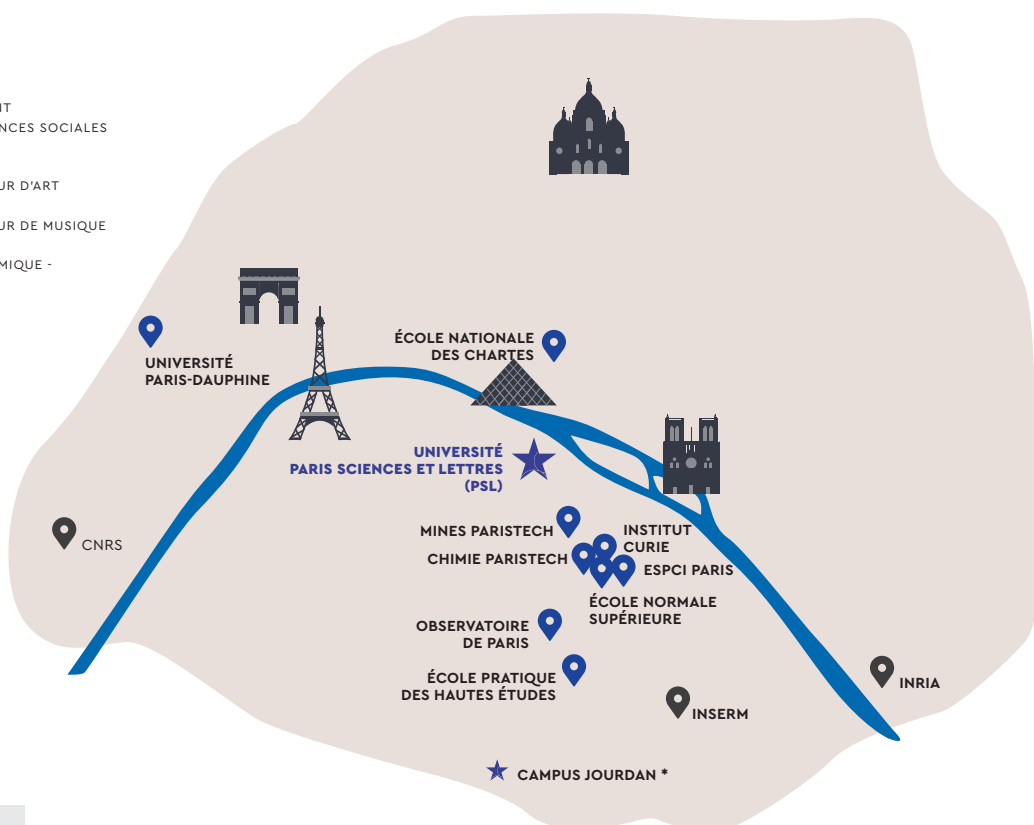
« Grâce à son excellence, confortée par PSL, MINES ParisTech forme les scientifiques et les ingénieurs entrepreneurs du 21^e siècle, à même de relever les défis d'un monde en mutation, notamment énergétique et numérique. »

V. Laflèche

NOTRE UNIVERSITÉ PSL, SES ÉTABLISSEMENTS-COMPOSANTES, SES PARTENAIRES ET ORGANISMES ASSOCIÉS

ASSOCIÉS PSL

- BEAUX-ARTS DE PARIS
- COLLÈGE DE FRANCE
- ÉCOLE FRANÇAISE D'EXTRÊME-ORIENT
- ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES EN SCIENCES SOCIALES
- ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES ARTS DÉCORATIFS
- CONSERVATOIRE NATIONAL SUPÉRIEUR D'ART DRAMATIQUE
- CONSERVATOIRE NATIONAL SUPÉRIEUR DE MUSIQUE ET DE DANSE DE PARIS
- INSTITUT DE BIOLOGIE PHYSICO-CHIMIQUE - FONDATION EDMOND DE ROTHSCHILD
- INSTITUT LOUIS BACHELIER
- LA FÉMIS



- COMPOSANTS PSL
- ORGANISMES DE RECHERCHE

* Le campus Jourdan ENS-PSE accueille une partie de la communauté de la Paris School of Economics, les départements d'économie, de sciences sociales et de géographie de l'ENS, certaines formations PSL (CPES, ITI, Collège des Masters) et aussi la Vie étudiante.

MINES PARISTECH

EN BREF

DES FORMATIONS D'EXCELLENCE

190 ingénieurs civils diplômés par an et **28** ingénieurs de spécialité recrutés
222 diplômés de **19** Mastères spécialisés
15 ingénieurs du Corps des mines diplômés chaque année
90 nouveaux docteurs diplômés par an
120 stagiaires en formation continue

L'ÉCOLE EN SYMBIOSE AVEC LE MONDE DE L'ENTREPRISE

Près de **23** millions d'euros de contrats de recherche par an (en partenariat avec ARMINES, Fondation Mines ParisTech...)

1^{re} école d'ingénieurs française pour le volume de recherche contractuelle
1 000 contrats de recherche par an
200 partenaires industriels représentant $\frac{3}{4}$ des contrats directs
21 chaires d'enseignement et de recherche actives (13 chaires accomplies)
20 entreprises créées grâce à l'École au cours des 5 dernières années :
 Expliseat, Nest for All, DNA Script, Yespark, Toucan Toco, BigBlue...
311 brevets et logiciels
7 millions d'euros d'activité d'industrialisation et de commercialisation de logiciels, réalisés par Transvalor

L'EXCELLENCE ACADÉMIQUE DE LA RECHERCHE

2 Prix Nobel formés à l'École (**28 avec PSL** et **10** Médailles Fields)
 Maurice Allais (économie, 1988) et Georges Charpak (physique, 1992)
3 ERC (plus de **200 dans PSL** depuis 2012)
225 enseignants-chercheurs (**2 900 dans PSL**)
18 centres de recherche, en pointe dans leur domaine (**140 laboratoires dans PSL**)
90 thèses soutenues par an
440 articles de rang A ou livres publiés chaque année
 Création de disciplines nouvelles :
 géostatistique, morphologie mathématique, systèmes plats...

UNE ÉCOLE OUVERTE SUR LE MONDE

120 universités partenaires sur 5 continents
30 accords de double-diplôme ingénieur
35 % d'étudiants de nationalité étrangère, tous cycles confondus
52 nationalités représentées
15 % des enseignants-chercheurs recrutés à l'international
20 % des contrats de recherche réalisés avec un partenaire étranger
 De nombreux partenariats de recherche avec des organismes français ou étrangers :
 CNRS, Institut Mines-Télécom, ParisTech, Inria, MIT, CalTech...

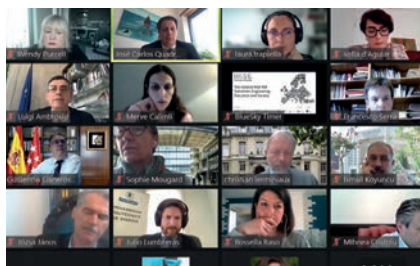


RÉTROSPECTIVE 2020

JANVIER

Conférence plénière d'**Éric Ballot** (CGS MINES ParisTech) lors d'un symposium Internet physique, organisé par le **Nomura Research Institute** et **Yamato Group**, au Japon (+ de 200 personnes issues d'entreprises, du METI et d'universités japonaises).

20-21 *Rector's meeting* et cérémonie de signature de la lettre d'intention portant sur la mise en place du **projet d'Université européenne EELISA**.



20-24 **Solar Radiation Training Course** : 8^e formation continue qualifiante, destinée aux experts du domaine de l'énergie solaire, organisée par le centre O.I.E MINES ParisTech.

FÉVRIER

7 « **Towards The Future Smart Grid** ». Colloque sur le thème de la planification de la transition énergétique dans les territoires, organisé par le centre PERSEE MINES ParisTech et l'Université Grenoble Alpes.

10 Inauguration de la **Chaire industrielle Topaze** (cf. p. 17).

Parution du livre de **Brice Laurent & Alexandre Mallard** (Eds.) du CSI MINES ParisTech, *Labelling the Economy Qualities and Values in Contemporary Markets*, Palgrave Macmillan, 2020.

26 Simulations à grande échelle pour le transport automatisé, à Zurich et à Paris. Séminaire de **Sebastian Hörl** (Institut fédéral de Technologie de Zurich) invité par la chaire internationale **Drive for All**, portée par le CAOR MINES ParisTech.

26-27 **Edi Assoumou** et **Gildas Siggini** (CMA MINES ParisTech) participent à la réunion finale du projet européen **Clim2Power**, à Offenbach (Allemagne). Ce projet portait sur l'élaboration de scénarios d'évolution de la production d'énergie sous contrainte d'évolution du climat.



MARS

16-18 **Nadia Maïzi** et **Sandrine Selosse** (CMA MINES ParisTech) ont participé au *Consortium Meeting #3* du **projet européen GIFT** consacré à la décarbonation du mix énergétique d'îles européennes.

AVRIL

14-19 **Nadia Maïzi** (CMA MINES ParisTech), a participé à l'*IPCC Working Group III virtual Lead Author Meeting*, en tant qu'auteure principale du chapitre 5 du 6^e Rapport du GIEC.

MAI

9-10 *Advanced LCA Methodologies and Tools : Uncertainties and Variability*. Pour la 8^e année consécutive, cette formation en anglais sur l'**Analyse de cycle de vie** (ACV), dispensée par le centre O.I.E MINES ParisTech, est référencée par le Réseau EcoSD comme « Cours Doctoral d'Excellence ».

JUIN

Signature d'un accord-cadre avec la société **Symbio**, pépite française de la mobilité hydrogène. « Neige 2 » lie l'École, ARMINES et Symbio pour 5 ans renouvelables (cf. p. 25).

5 1^{er} webinaire du **projet H2020 Smart4RES**, coordonné par le Centre PERSEE MINES ParisTech.

JUILLET

Parution du livre de **Kean Birch** et **Fabian Muniesa** (CSI MINES ParisTech), *Assetization. Turning Things into Assets in Technoscientific Capitalism*, MIT Press, 2020.

PERSEE MINES ParisTech est membre fondateur de l'**Aerogel Materials Research Center** (centre de recherche international sur les matériaux aérogels) créé à l'initiative du **Professeur Hyung-Ho Park** de l'Université Yonsei (Seoul). En plus de prestigieuses universités coréennes, ce centre virtuel regroupe les universités d'Akron (Ohio), Kyoto (Japon), Tongji (Chine), D.Y. Patil (Inde) et Sfax (Tunisie).

SEPTEMBRE

8-11 11^e édition de la **conférence internationale WAMCA** (Portugal) sur les applications des architectures multicœurs, organisée par **Claude Tadonki** (CRI MINES ParisTech).

24 « Les territoires 100 % renouvelables » : 20^e édition du **Congrès OSE** (Journée de la Chaire MPDD).



25 **Blerina Gkotse** (CRI MINES ParisTech) a soutenu, par vidéoconférence, sa **thèse financée par le CERN** (Suisse) et consacrée à l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la conception des systèmes personnalisés de gestion de données, en particulier dans le domaine des expériences d'irradiation.

29 « **INCEP-ACV** : un outil pour la prise en compte des incertitudes en Analyse de Cycle de Vie ». Présentation digitalisée organisée par le centre O.I.E MINES ParisTech et Engie.

OCTOBRE

1^{er} **Projet IDEAL** : lancement du catalogue de formation doctorale du Consortium européen IDEAL 5.

14 Lancement du **2^e cycle de la chaire Théorie de l'entreprise** - Modèles de gouvernance et création collective, portée par le CGS MINES ParisTech.

16 « Retour sur le **3^e Rapport du Fonds vert mondial** » : séminaire organisé par le CMA dans le cadre de la Chaire MPDD.

21 Cérémonie virtuelle de signature d'un **accord de double diplôme avec Zhejiang University** (Faculté de mathématiques), Chine.

NOVEMBRE

2 **Cérémonie de remise ClassGift P18** par Zoom : remise d'un chèque de 52 500 € à **Jean-Pierre Clamadieu**, président de la Campagne de développement de MINES ParisTech.



5 Labellisation de l'**Idex PSL**.



5 La paléoclimatologue, coprésidente du Groupe 1 du GIEC, **Valérie Masson-Delmotte**, donne le coup d'envoi du séminaire « **Ingénieurs et transition écologique** », organisé par des étudiants pour la 2^e année consécutive.



9 « Impact de la crise **Covid-19** sur les scénarios de transition énergétique » : séminaire dans le cadre de la Chaire MPDD, portée par le CMA MINES ParisTech.

13 Signature d'une **convention de partenariat** entre **MINES ParisTech | PSL Executive Education** et **Intermines**, visant à promouvoir l'offre de formation continue de MINES ParisTech auprès des alumni.

19 Rencontre en ligne avec **Brune Poirson**. La députée du Vaucluse, ancienne secrétaire d'État à la Transition écologique & solidaire, était l'invitée des étudiants de MINES ParisTech.

DÉCEMBRE

4 Lancement du **ClassGift P19** à l'occasion de la Sainte-Barbe. Présentation aux élèves et aux alumni du projet de transformation de la salle des boîtes aux lettres en « vitrine de l'École ».

9 **Première édition du séminaire MINDS** - Mines Initiative for Numeric and Data Science - 100% digital : jumeau numérique et maintenance prédictive.



14-17 **Forum Trium**, la rencontre étudiants-entreprises (3000 étudiants, 200 entreprises), organisée par les élèves de MINES ParisTech, de l'École des Ponts ParisTech, de l'Ensa et de l'Ensa, s'est tenue en mode virtuel.

15 « Comment déclencher la transition bas carbone à l'échelle mondiale dans le contexte économique Covid-19 ? ». Séminaire dans le cadre de la Chaire MPDD. Présentation de **Yannick Glemarec**, Directeur exécutif du Fonds vert climat.

17 **2^e webinaire Smart4RES** : Comment valoriser les données en respectant les contraintes de confidentialité et de vie privée ? Plus de 1300 inscriptions (issues de 95 pays) et 650 participants connectés.

20 **Concert de Noël**, dédié aux bienfaiteurs de la Fondation, diffusé en direct grâce à la plateforme « Recit'hal ». Au programme : Maurice Ravel, Gabriel Fauré...

LES HDR DE L'ANNÉE 2020

Robin Girard (PERSEE MINES ParisTech) « Utilisation de grandes quantités de données au service de la modélisation pour la Transition énergétique ».

Sophie Hooge (CGS MINES ParisTech), « La valeur de l'inconnu en entreprise. Modélisation des stratégies, outils et dynamiques collectives (...) »

Chloé-Agathe Azencott (CBIO MINES ParisTech) « Machine learning tools for biomarker discovery ».

Thomas Walter (CBIO MINES ParisTech), sur le sujet : « Bioimage Informatics for Phenomics ».

Jean-Emmanuel Deschaud (CAOR MINES ParisTech), « Nuage de Points et Modélisation 3D ».

Zaki Leghtas (CAS MINES ParisTech), « Exotic superconducting circuits to probe and protect quantum states of light and matter ».

p. 12	ENTRETIEN AVEC YANNICK VIMONT
p. 14	PRIX ET RÉCOMPENSES
p. 16	ENTREPRENEURIAT ET RELATIONS ENTRE- PRISES
p. 18	SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT
p. 22	ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS
p. 26	MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX
p. 30	MATHÉMATIQUES ET SYSTÈMES
p. 34	ÉCONOMIE, MANAGEMENT ET SOCIÉTÉ

EXCELLENCE SCIENTIFIQUE



QUESTIONS À :
YANNICK VIMONT
DIRECTEUR DE LA RECHERCHE

■ QUELS FAITS RETIENDRA-T-ON DE L'ANNÉE 2020 ?

Yannick Vimont : L'événement majeur reste le confinement du mois de mars : un coup de tonnerre pour les équipes de recherche de l'École, qui ont dû suspendre leurs activités en un éclair. Néanmoins, nous avons rapidement su revenir à des conditions favorables aux pratiques expérimentales, avec une production quasi-normale dès le mois de mai, ce qui nous a permis d'honorer nos contrats de recherche. Cela a parfois nécessité des remises en état, un recalibrage... et a été l'opportunité de réfléchir à de nouvelles organisations.

Cet épisode a surtout souligné la formidable capacité d'adaptation des équipes dans un contexte très compliqué, ce que je tiens à saluer. De nombreux collègues sont encore aujourd'hui en télétravail. Nous avons veillé, et nous veillons encore, au respect des jauges et des plannings de présence. Ceci durera jusqu'au retour à la normale, mais ces nouvelles formes d'organisation laissent penser que nous bénéficierons, à l'avenir, de plus de souplesse au quotidien.

Au plus fort de la crise, nous avons accompli diverses actions contributives à l'effort sanitaire. Je pense à l'élaboration du respirateur low-tech MVM, à l'étude collective Maskovid ou à l'utilisation de plateformes d'impression 3D, pour la production de visières de protection, offertes aux soignants.

Mais, l'année 2020, c'est aussi l'actualisation de la stratégie et une large mobilisation pour préparer différents chantiers liés à la recherche, qui ont connu leurs points culminants lors des sessions de co-design organisées entre octobre 2020 et janvier 2021.

Je pense en particulier aux chantiers suivants :

- Visibilité de la recherche
- Doctorat pour les ingénieurs civils
- Modèle économique
- Ressources humaines

Je tiens à remercier les enseignants-chercheurs, les alumni, les élèves et les personnels qui ont participé à cet effort, dont la conclusion arrivera courant 2021.

■ COMMENT LES DOMAINES DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET DES SCIENCES PRÉDICTIVES POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR (SPIF) S'ILLUSTRENT-ILS À MINES PARISTECH ?

Y.V. : Nous avons su, malgré la situation sanitaire, organiser des manifestations scientifiques qui ont trouvé leurs publics. Je pense à la conférence donnée dans le cadre du projet MINDS, consacrée au jumeau numérique et à la maintenance prédictive, ainsi qu'à la conférence-débat sur les sciences des données et la transition énergétique. Parmi les autres réussites, la bourse ERC (European Research Council) attribuée à Pierre Rouchon a marqué les esprits. Il devient le deuxième lauréat ERC de l'équipe Quantic (Inria - ENS - MINES ParisTech-PSL), pour le projet Quantum Feedback Engineering. Toujours dans le cadre de la plateforme MINDS, pilotée par Elie Hachem, nous avons développé un projet de chirurgie assistée par IA, en partenariat avec l'Institut neurologique de Munich et pour lequel une demande de bourse ERC Consolidator a été déposée. Il s'agit de concevoir des stents sur mesure dans le but de prévenir les ruptures d'anévrisme. Une conception individuelle fondée sur des modélisations issues de données biométriques et porteuse de meilleures chances de survie pour les bénéficiaires. Nous avons aussi vécu de nombreux succès associés à l'hydrogène. Les travaux du Centre PERSEE ont abouti à la signature d'un accord-cadre avec l'entreprise Symbio, champion français de la pile à combustible pour la mobilité. Cet accord permettra diverses actions de recherche.

En 2020 le projet HyTREND, piloté par Christian Beauger (Persée), qui est aussi l'animateur du collectif H2MINES – a été lancé. HyTREND est un projet Carnot MINES fédérateur, rassemblant 13 laboratoires issus de 5 écoles autour de la production d'hydrogène, du captage de CO₂, de la méthanation et de la détection et du stockage de gaz notamment. La question du transport de l'hydrogène et de l'adaptation potentielle du réseau de transport de gaz à l'hydrogène est au cœur de notre nouvelle chaire ANR Messiah, portée au Centre des Matériaux par Yazid Madi et Jacques Besson. Durant 4 ans, nous étudierons la résistance et le comportement de mini-éprouvettes.

Du côté des énergies renouvelables, le projet européen Orchyd Horizon 2020, porté par Géosciences, contribuera à l'amélioration des forages pour la géothermie profonde. La promesse ? Un développement de cette solution associée à une forte réduction des coûts (-65%) et une vitesse de forage augmentée de 50%, en associant les différentes techniques existantes.

Depuis l'automne 2020, Paula Perez-Lopez et Mélanie Douziech, du centre O.I.E., co-pilotent le projet LIF OVY, en collaboration avec France Énergies Marines et de nombreux partenaires industriels, dans le but de développer un cadre méthodologique précis pour l'application de l'analyse de cycle de vie (ACV) aux projets éoliens marins.

■ QUELS SONT LES GRANDS PROJETS OU GRANDES AMBITIONS POUR 2021 ?

Y.V. : 2021 sera l'année du développement d'une nouvelle version de Z-SET, un logiciel d'analyse de matériaux et de structures non linéaires, produit phare de l'École, reconnu dans toute l'industrie.

Le partenariat avec Symbio est appelé à prendre une dimension supplémentaire. Cette entreprise nous a associé à un projet européen d'intérêt commun (EPCEI) « Hydrogène », ce qui va nous permettre, dans les prochains mois, de changer d'échelle avec de futures actions de recherche.

Le projet fédérateur Carnot « Recyclabilité des polymères », emmené par Sabine Cantournet, va prendre de l'ampleur. Il associe de nombreux centres de recherche avec une approche fortement pluridisciplinaire consacrée à une problématique environnementale et sociétale. Enfin, un nouveau projet fédérateur Carnot est en préparation, avec le Centre de gestion scientifique et Eric Ballot, autour de l'Industrie 2.0 et de l'Internet physique.

FOCUS

TROIS SPIN-OFF DE MINES PARISTECH*

Alice et Bob : 3 millions d'euros déjà levés

Les travaux de Zaki Leghtas et Pierre Rouchon sur l'information et l'ingénierie quantique ont contribué à la création d'Alice et Bob, jeune pousse labellisée « MINES ParisTech Spin-off » et fondée par Théau Peronin et Raphaël Lescanne. Ce projet entrepreneurial vise à réaliser un système destiné à concurrencer Google, IBM ou Amazon. Ses arguments sont convaincants : 3 millions d'euros viennent d'être levés, des moyens considérables qui vont permettre de démultiplier les recherches.

Convention d'exploitation exclusive avec SUBLIME Énergie

MINES ParisTech et ARMINES ont signé une convention avec SUBLIME Énergie pour l'exploitation exclusive de leur technologie de liquéfaction de biogaz.

SUBLIME Énergie s'appuie sur la technologie unique au monde de liquéfaction de biogaz brut à haute efficacité énergétique, développée au CES MINES ParisTech et pour laquelle un brevet a été déposé auprès de l'Inpi. Cette convention illustre l'ambition de l'École d'être un acteur de 1^{er} plan de la transition énergétique.

Convention de partenariat avec ARXITEK

Data sciences, Deep-learning et Géostatistique

- Expertise en analyse de données spatio-temporelles
- Formation-Conseil
- Développement d'algorithmes et de logiciels

* Cf. p.17, À propos de MINES ParisTech Spin-off

PRIX ET RÉCOMPENSES

2020

RÉCOMPENSES INTERNATIONALES

Prix **de recherche Humboldt** alloué à **Enrico Zio** (CRC MINES ParisTech) pour ses travaux (cf. p.37).

Une bourse **ERC** (*European Research Council*) pour **Pierre Rouchon** (CAS MINES ParisTech) (cf. p.32).

IACM Fellows Award (décerné tous les deux ans) attribué à **Elie Hachem** (CEMEF MINES ParisTech) pour ses travaux en mécanique numérique.



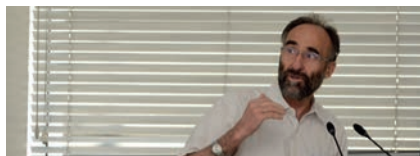
Prix du **meilleur chercheur de moins de 40 ans en économie de l'environnement** décerné à **Antoine Dechezleprêtre**, chercheur associé et ancien doctorant (CERNA MINES ParisTech), par l'EAERE (Association européenne des économistes de l'environnement).

MÉDAILLES

Médaille d'argent du CNRS décernée à **Tatiana Budtova** (CEMEF MINES ParisTech) pour ses travaux sur les bio-aérogels.



Médaille de l'air et de l'espace à Georges Cailletaud (CMAT MINES ParisTech) pour sa contribution à la modélisation mathématique des matériaux aéronautiques.



Médaille RIST de la SF2M à **Daniel Pino Muñoz** (CEMEF MINES ParisTech) pour la prédiction numérique des évolutions microstructurales dans des matériaux cristallins.

PRIX SCIENTIFIQUES

1^{er} prix de thèse de l'Association *Think SmartGrids* (TSG) décerné à **Simon Camal** (PERSEE MINES ParisTech).

Prix Alain Desrosières remis par la Société française de statistique à **Quentin Dufour** (CSI MINES ParisTech) pour ses recherches sur « l'objectivation comptable de l'économie nationale ».

Le **Prix Bodycotte SF2M** récompense **Vincent Huleux** (CMAT MINES ParisTech), 1^{er} prix, et **Alexis Nicolaï** (CEMEF MINES ParisTech), 2^e prix.

Prix de thèse « Spécial AREA » (Association pour les recherches sur l'économie) pour **Chloé Salembier** (INRAE). Cette thèse a été co-encadrée au CGS, MINES ParisTech.

Le **prix HIRN 2020** est attribué à **Andrei Shvarts** (CMAT MINES ParisTech) pour sa thèse, « Couplage mécano-fluidique pour le contact et le frottement à petites et à grandes échelles ».

Prix **Pierre Londe 2020** de la meilleure thèse en mécanique des roches décerné à **Hafssa Tounsi** (GÉOSCIENCES MINES ParisTech) pour ses recherches sur la modélisation des processus couplés thermo-hydro-mécaniques en milieu poreux, appliquée à la congélation des massifs rocheux.

Pour la 2^e année consécutive, 1^{er} prix du **"CARLA Autonomous Driving challenge"** pour **Marin Toromanoff**, doctorant au CAOR MINES ParisTech.

Prix **Amiral Daveluy de la Marine nationale** et **Prix de thèse de l'Académie de marine**, décernés à **Nicolas Cliche** pour sa thèse effectuée au Centre des matériaux MINES ParisTech.

PRIX PUBLICATIONS

Prix FNEGE 2020 du Meilleur ouvrage collectif de recherche en management attribué à « Pour en finir avec le New Public Management », dirigé par Nicolas Matyasik et Marcel Guenoun, avec les contributions des chercheurs du CGS MINES ParisTech, **Emmanuel Coblenz**, **Philippe Lefebvre** et **Frédérique Pallez**.

Prix de l'ouvrage de recherche de l'année décerné par la FNEGE (Fondation nationale pour l'enseignement de la gestion des entreprises) pour le livre d'**Helen Micheaux** (CGS MINES ParisTech), « Responsabiliser pour transformer : des déchets aux mines urbaines », publié aux Presses des mines.

Prix de l'enseignant-chercheur décerné par le colloque ISEOR pour **Isabelle Aubert** et **Frédéric Kletz** (CGS MINES ParisTech) pour la communication intitulée « La certification des comptes des hôpitaux : le paradoxe d'une normalisation consensuelle ».

Journal of Management History - Literati Award Winners 2020 pour le papier "The separation of directors and managers: A historical examination of the status of managers", de **Blanche Segrestin**, **Armand Hatchuel** (CGS MINES ParisTech) et Andrew Johnston.

Best Paper Award décerné par le *Journal of Global Optimization* pour **Wellington De Oliveira** (CMA MINES ParisTech) pour son article « Proximal bundle methods for nonsmooth DC programming ».

L'article « Aerogel-based thermal superinsulation : an overview », de **Patrick Achard** et **Arnaud Rigacci** (PERSEE MINES ParisTech) est classé parmi le *Top-ten* des articles du JSGST (Journal of Sol-Gel Science and Technology / Springer) les plus téléchargés en 2019 (avril 2020).



Juhi Sharma, doctorante au CEMEF MINES ParisTech, entourée de Nathalie Bozzolo, son encadrante, et Elie Hachem, instigateur du Prix Pierre Laffitte.

Automatica Paper Prize. Les travaux de **Silvère Bonnabel** et **Axel Barrau** ont été récompensés par le prix du meilleur article du journal de l'IFAC, Automatica (cf. p. 33).

PRIX ÉTUDIANTS

1^{er} Prix Pierre Laffitte attribué à **Juhi Sharma** (doctorante au CEMEF MINES ParisTech) pour ses travaux de thèse sur « l'évolution de microstructure au cours des opérations de forgeage de l'alliage VDM® Alloy 780 ».

Best Reviewer Award de la division *Technology & Innovation Management* pour la conférence Academy of Management pour **Quentin Plantec** (doctorant au CGS MINES ParisTech).

Top 5% Paper Distinction pour **Stefano Cassano** (doctorant PERSEE MINES ParisTech) dans le cadre de la Conférence UPEC 2020 (Conférence internationale sur l'ingénierie électrique).

Le prix **ArcelorMittal Pierre Vayssière** de la SF2M récompense **Artur Alvarenga** pour son projet de stage de fin d'études réalisé au CEMEF MINES ParisTech, intitulé « Maîtrise de la croissance critique des grains dans le superalliage base Fer SY286® ».

Prix Étudiant **Société française des ingénieurs des plastiques** (SFIP 2020), décerné à **Ilan Raphaël** pour sa thèse sur la fatigue de polyamides 66 renforcés, co-dirigée par Lucien Laiarinandrasana (CMAT MINES ParisTech).

ENTREPRISES

Le journal *l'Usine Nouvelle* (Novembre 2020) classe PERSEE MINES ParisTech parmi les « 50 [de l'hydrogène] qui comptent » sur le territoire national.



DIVERS

Kévin Bellinguer et **Valentin Mahler** (doctorants PERSEE) et **Simon Camal** (Projet Manager Smart4RES), vainqueurs du **Challenge international EEM** (challenge de prévision de production éolienne) organisé dans le cadre de l'édition 2020 de la Conférence internationale *European Energy Market*.

Publication des travaux de thèse de **Di Li** dans la très prestigieuse revue internationale de chimie catalytique *Applied Catalysis B: Environmental*, soulignant les résultats prometteurs obtenus au Centre PERSEE MINES ParisTech sur la synthèse de produits hydrocarbonés liquides à partir de CO₂.

Les travaux publiés sur la base des matériaux développés dans la thèse de **Lluís Sola-Hernandez** (PERSEE MINES ParisTech) sont en couverture du prestigieux journal *ACS Catalysis* (Impact Factor = 12.4).

NOMINATIONS DANS DIVERSES INSTANCES SCIENTIFIQUES

En 2020, **Nadia Maïzi** (CMA MINES ParisTech) est nommée membre du Conseil scientifique du CEA, puis membre du Comité d'experts du Programme Hubert Curien-Tassili avec l'Algérie et également membre du Comité d'orientation stratégique de l'Université Paris-Saclay.

Margaret Kyle (CERNA MINES ParisTech) est nommée membre de l'EAGCP (*Economic Advisory Group on Competition Policy*) à la Commission européenne, pour une durée de 3 ans.

Fabrizio Sossan est nommé Éditeur associé du journal *Sustainable Energy, Grids and Networks* (SEGAN / Ed. Elsevier).

Vincent Lagneau (GÉOSCIENCES MINES ParisTech) est nommé président du comité scientifique du BRGM (Bureau de recherche géologiques et minières).

Wellington De Oliveira (CMA MINES ParisTech) est nommé *Associate Editor* de la revue *Informa Journal on Computing (IJOC)*. Il est, par ailleurs, nommé rapporteur du Prix de thèse Paul Caseau (EdF).

PSL est 36^e au classement de Shanghai 2020, **46^e** au classement mondial du *Times Higher Education* et **53^e** au *QS World University Ranking*.

Olivier Hermant (CRI MINES ParisTech) est nommé membre du Comité scientifique du GDR CNRS Génie de la programmation et du logiciel.

ENTREPRENEURIAT ET RELATIONS ENTREPRISES

Forte de ses liens historiques avec l'industrie, MINES ParisTech est un acteur majeur de l'innovation. Sa culture entrepreneuriale irrigue l'ensemble de ses formations. Première école d'ingénieurs en France par son volume de recherche partenariale, MINES ParisTech est engagée dans plus de 1 000 contrats avec les acteurs du monde socio-économique.

LA SEMAINE ENTREPRENEURIAT

La première édition de la semaine Entrepreneuriat a rassemblé toute la promo de 1^{re} année. Cette innovation pédagogique, liée à la réforme du cycle IC, favorise l'apprentissage par l'expérience. Répartis en 6 pôles (Ville et mobilité, Énergie, Santé, Alimentation, Éducation, Culture et sport), de petites équipes d'élèves, encadrées par des coordonnatrices et coordonnateurs, ont développé des projets de start-up. Au total, une trentaine d'anciens élèves engagés dans l'entrepreneuriat ont apporté leur soutien à ces équipes, en jouant le rôle de mentors ou de membres de jurys. Des conférences sur l'entrepreneuriat, des tables-rondes et des rencontres permettent aux élèves de saisir la diversité de l'entrepreneuriat et le fonctionnement

de l'écosystème entrepreneurial.

Au cours de cette année 2020, de nombreuses entreprises créées par des ingénieurs civils de l'École ont annoncé de belles levées de fonds. C'est le cas notamment de DNA Script, de Pigment, d'Ekimetrics, de SpaceFill, de Bigblue, de Cuure... D'autres se sont distinguées par leur dynamisme, telles Toucan Toco, Lovebox ou Expliseat. Un ouvrage, « L'entrepreneuriat en action. Ou comment de jeunes ingénieurs créent des entreprises innovantes », publié aux Presses des Mines, permet de mieux comprendre ce processus entrepreneurial.

Contact :
Philippe Mustar



LES RELATIONS ENTREPRISES ET LES ÉTUDIANTS

La Direction de l'enseignement pilote les relations entreprises au profit de tous les étudiants des différents cycles de formation. Cette année de pandémie a modifié quelques équilibres et vu naître de nouveaux modes de fonctionnement.

Les stages

La pédagogie à MINES ParisTech s'accompagne de périodes de mise en pratique en entreprise, lors des stages ou missions professionnelles.

En 2020, 850 stages ont été effectués par les élèves du cycle Ingénieur civil, d'Isupfere et en Mastères spécialisés. On observe une croissance par rapport à 2019, mais celle-ci est également liée à l'augmentation des effectifs étudiants. Par ailleurs, nos étudiants anticipent souvent leur recherche de stage, ce qui a limité l'impact de la raréfaction des offres, entre mi-mars et juin, lors du 1^{er} confinement.

À noter également, la décroissance de la proportion de stages à l'étranger : 20 % en 2020 (34 % en 2019), qui correspond aux consignes de prudence données par la Direction de l'enseignement, dans le contexte de pandémie.

Dans cette période, les étudiants ont aussi pratiqué le

télétravail selon les schémas propres à leur entreprise d'accueil ; certains stages ont également été écourtés ou fait l'objet de reports.

<http://intranet.mines-paristech.fr/Accueil/index.php/Les-formations/Offres-de-stages-VIE-1er-emploi.../>



Patrick Pouyanné, PDG de Total, était l'invité des élèves, le 27 octobre 2020.

Les rencontres avec les entreprises

Les étudiants organisent, tout au long de l'année, des rencontres avec les entreprises, selon des formats thématiques, de coaching ou plus magistraux... Le format à distance, principalement employé cette année, a permis de multiplier leur nombre.

Contact :
Johanna Ducret

LA TAXE D'APPRENTISSAGE : DES LIENS DIRECTS RESTAURÉS

La taxe d'apprentissage est un bon baromètre de l'attractivité de l'École, de ses enseignements et de la qualité des étudiants pour les entreprises. Elle valorise l'immersion de nos étudiants dans le monde économique.

Dans le cadre de la nouvelle loi pour la liberté de choisir son avenir professionnel, MINES ParisTech, au-delà de sa formation en apprentissage Isupfere, est habilitée à percevoir les 13 % de la valeur globale, dits « libératoires ». Cette année, les entreprises pouvaient effectuer leurs versements en direct à l'École ; malgré la réforme et le contexte, elles ont été nombreuses à lui prouver ainsi leur attachement.

<https://www.minesparis.psl.eu/Entreprise/Soutenez-MINES-ParisTech/Taxe-d-apprentissage/>



LA RECHERCHE ORIENTÉE À MINES PARISTECH POUR RELEVÉ LES DÉFIS INDUSTRIELS ET SCIENTIFIQUES

Les questions des industriels permettent d'aborder des territoires nouveaux et originaux ; ces questions pratiques rendent la recherche créative. Réciproquement, la rigueur des méthodes scientifiques rend les explorations plus structurées ; l'abstraction et les formalisations des chercheurs

rendent l'industrie plus efficace. Être en mesure d'aborder ces sujets à double enjeu suppose une connaissance fine des problématiques des industriels et le meilleur niveau académique. Ensemble, grands groupes, start-ups et académiques peuvent ainsi relever les défis industriels

et scientifiques en développant des stratégies efficaces d'innovation durable.

Contact :
Valérie Archambault

QUATRE NOUVELLES CHAIRES EN 2020

MINES ParisTech, Safran, l'Institut P', le CNRS, l'ISAE-ENSMA, l'Université de Poitiers, Armines et l'Agence nationale de la recherche (ANR) lancent **la chaire industrielle TOPAZE**, consacrée à l'optimisation des propriétés mécaniques d'alliages aéronautiques par le contrôle de la microstructure issue de la mise en forme.

Prévue pour une durée de 5 ans et dotée d'un 1,4 M €, la chaire TOPAZE développera un programme de recherche autour de deux axes, qui seront abordés à la fois sous l'angle de la

connaissance fondamentale des mécanismes métallurgiques mis en jeu et sous celui de la mise en œuvre industrielle de ces connaissances :

- l'évolution de la microstructure au cours des opérations de mise en forme (forgeage, traitements thermiques) ;
- l'impact de la microstructure sur la tenue en service.

Contact :
Nathalie Bozzolo



MINES ParisTech (Géosciences, CSI et Musée), Mines Nancy, IMT-Mines Alès, ENS Géologie de Nancy lancent **la chaire Industrie Minérale & Territoires**.

Elle est soutenue par 31 partenaires acteurs impliqués dans l'Industrie minière et les territoires (des opérateurs industriels aux entités étatiques en passant par les représentants de la société civile et les institutions académiques) dont 4 mécènes (Ministère de la transition écologique, Eramet, Imerys et Orano) et 27 adhérents.

4 axes de recherche ont été définis :

- révolutions technologiques dans l'industrie minière et impacts environnementaux et sociétaux ;
- techniques d'évaluation environnementale et contrôles associées ;
- politiques territoriales et choix de société ;
- fabrication des anticipations et des engagements miniers.

Contact :
Jean-Alain Fleurisson

Créée par MINES ParisTech et VALE NC, **la chaire MINAUMET** a pour objectif de contribuer à l'amélioration des sciences et techniques mises en œuvre dans la caractérisation des gisements, le pilotage de leur exploitation et la transformation des minerais.

Dans un contexte de limitation des ressources et face à une image parfois peu flatteuse auprès du grand public, les acteurs du secteur minier doivent faire évoluer leurs pratiques pour mieux valoriser leurs gisements : augmenter la part du métal réellement valorisée, adapter la production, en volume comme en type de produit fini, à la demande

des marchés et, bien sûr, minimiser autant que possible les impacts des exploitations.

2 axes de recherche ont été définis :

- maîtrise de la qualité du minerai ;
- maîtrise du procédé.

Contacts :
Damien Goetz,
Christophe Coquelet



La chaire MESSIAH (Mini-éprouvettes pour le suivi in service des structures industrielles et application hydrogène) regroupe un producteur de tubes d'acier employés dans le transport de l'énergie (Mannesmann) et trois acteurs majeurs (GRTgaz, EdF, Air Liquide) (cf. p. 28).

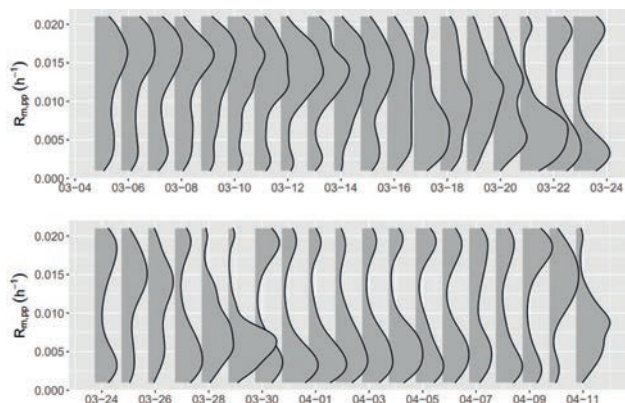
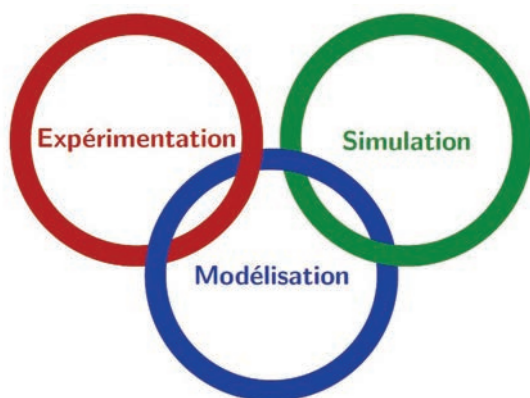


À PROPOS DU LABEL MINES PARISTECH SPIN-OFF

Les start-up issues des centres de MINES ParisTech contribuent à augmenter l'impact de la recherche. Véritable vecteur d'innovation, ces jeunes entreprises et les chercheurs et les chercheuses qui les accompagnent participent activement à la politique de valorisation de MINES ParisTech - PSL. Le label MINES ParisTech SPIN-OFF témoigne d'une volonté partagée de s'engager dans un partenariat d'innovation et de créer des liens solides pour l'avenir. MINES ParisTech - PSL accompagne ces projets de création d'entreprise en mobilisant tout son écosystème : chercheurs et chercheuses, fonctions support, élèves et alumni, partenaires industriels et académiques (cf. p.13).

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

L'ambition est d'apporter les connaissances nécessaires pour éclairer les débats scientifiques, techniques, économiques et sociétaux sur les grandes questions relatives à la gestion des ressources naturelles, au rôle que peut jouer le sous-sol dans la transition énergétique, la protection de l'environnement et le développement durable.



Distributions a posteriori de la respiration de maintenance du phytoplancton ($R_{m,sp}$) caractérisées par ProSe-PA (cf. projet phare p20).

1 CENTRE DE RECHERCHE ET 1 INSTITUT DE FORMATION

■ CENTRE DE GÉOSCIENCES

Les thèmes de recherche du Centre de Géosciences couvrent des sujets aussi variés que l'approvisionnement en ressources primaires (hydrocarbures, minérales, géothermie), l'utilisation de l'espace souterrain (stockage géologique des déchets radioactifs, stockage géologique du CO_2 , stockage d'énergie sous forme d'hydrocarbures ou de gaz de synthèse, infrastructures souterraines) et enfin la gestion de ressource en eau et des risques naturels (relations atmosphère - sol - sous-sol - réseau hydrique, impacts du changement climatique).

■ INSTITUT SUPÉRIEUR D'INGÉNIERIE ET DE GESTION DE L'ENVIRONNEMENT (ISIGE MINES ParisTech)

L'ISIGE est le centre de formation et d'expertise dédié à l'environnement et au développement durable de MINES ParisTech. Interdisciplinaire par essence, il forme depuis plus de 25 ans des professionnels de haut niveau et développe une expertise auprès des entreprises et des territoires en matière de transition écologique.

« Les activités de recherche couvrent l'essentiel des disciplines des géosciences. »



Trois questions à

VINCENT LAGNEAU

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

SPECIALITÉ DOCTORALE

■ Géosciences et géoingénierie

• Responsable : Laurent De Windt

FORMATIONS POST-MASTER MASTÈRES SPÉCIALISÉS

■ MS IGE : Ingénierie et gestion de l'environnement

• Responsable : Valérie Lengart

■ MS ENVIM : International Environmental Management

• Responsable : Cathy Descamps-Large

■ MS Géostatistique

• Responsable : Gaëlle Le Loch

■ MS MIRIS : Mineral Ressources Industry & Society (Industrie des ressources minérales et Société)

• Responsable : Jean-Alain Fleurisson

FORMATION CONTINUE

■ Executive MS RSE-DD : Management global de la RSE et du développement durable

• Responsable : Jasha Oosterbaan

CHAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

■ ANR ISR-U : Production par récupération *in situ* de l'uranium

• Responsable : Vincent Lagneau

■ Chaire Industrie minérale et Territoires

• Contact : Jean-Alain Fleurisson

CHAIRE DE MÉCENAT

■ MINAUMET : Maîtrise de la qualité du minerai et des procédés pour une valorisation optimisée des ressources minérales

• Responsable : Damien Goetz

■ QUELLES SONT LES SPÉCIFICITÉS DU DÉPARTEMENT ?

VINCENT LAGNEAU : Le département comprend le Centre de géosciences, structure de recherche de MINES ParisTech dans le domaine des Sciences de la terre et de l'Environnement, et l'Institut supérieur en ingénierie et gestion de l'environnement (ISIGE), dédié à la formation et l'expertise en matière d'environnement et de développement durable. Les activités de recherche couvrent l'essentiel des disciplines des géosciences. Il s'agit de mieux connaître les ressources primaires du sous-sol et de faire progresser leurs techniques d'exploitation, d'utiliser de manière sûre et économique le sous-sol (stockage d'énergie et infrastructures souterraines de transport), de comprendre et prédire l'effet des forçages climatiques sur la ressource en eau et sur les risques naturels et, enfin, de travailler sur la transition écologiques des territoires.

Le département s'implique largement dans l'enseignement, au sein du cycle Ingénieur civil comme à travers des formations continues et des Mastères spécialisés dédiés à l'environnement, au développement durable, ainsi qu'à la gestion des ressources minérales.

■ QUELLES ONT ÉTÉ LES RÉALISATIONS EN 2020 ?

V.L. : Le programme de recherche du Centre de géosciences porte largement sur le rôle des Sciences de la Terre dans la transition écologique et énergétique. Outre la production d'énergie géothermique, les possibilités de stockage massif de l'énergie dans le sous-sol sont étudiées dans différents projets, par exemple, le stockage d'hydrogène en cavité saline, *power to gas* en cycle fermé. L'amélioration des outils numériques et l'utilisation et l'amélioration continue de nos plateformes expérimentales permettent d'imaginer des domaines de sollicitation étendus, en tenant compte de l'impact de différents gaz et impuretés associées. Les recherches sur l'exploitation des ressources du sous-sol ont aussi une incidence sur la transition énergétique, qui reposera inévitablement sur une consommation accrue de certains métaux. Ainsi, les travaux sur la récupération *in situ* de l'uranium et les extensions possibles vers d'autres commodités renforcent les compétences sur des techniques plus classiques d'exploitation.

En matière de transition énergétique et écologique, l'ISIGE a accompagné des territoires dans la mise en place de modèles innovants de gouvernance pour la mobilité, la gestion d'énergie et de ressources et la mise en place de l'économie circulaire.

L'enseignement des géosciences a évolué dans le nouveau cycle Ingénieur civil afin d'intégrer au plus près les relations entre Sciences de la Terre et divers enjeux sociétaux. Les enseignements en mode projet et d'autres formes pédagogiques adaptées aux questions de développement constituent le cœur des enseignements développés à l'ISIGE pour le public, très nombreux, de ses MS et des autres enseignements réalisés par le département.

■ QUELS SONT LES PROJETS OU AMBITIONS POUR LE DÉPARTEMENT EN 2021 ?

V.L. : Le Centre de géosciences continuera sa démarche de construction et de consolidation de codes de calcul scientifique appliqués aux problèmes concrets des Sciences de la Terre, fondés sur la simulation numérique de mécanismes physiques complexes et couplés. De plus en plus, l'approche sera renforcée par une approche mixte entre description physique des processus et assimilation de données. Les outils de caractérisation du Centre, comme la halle de forabilité, pourront jouer un rôle majeur dans l'acquisition de données permettant de mettre au point ces nouvelles approches.

L'ISIGE renforcera ses interactions avec les acteurs du territoire sur les thèmes de l'aménagement et du développement territorial innovant, du métabolisme urbain et sur la résilience climat en lien avec la transition écologique, au travers de partenariats de recherche-action. Par ailleurs, la thématique de l'économie circulaire continue à faire l'objet d'actions de formation et de projets avec les entreprises et éco-organismes, avec, notamment, un approfondissement du travail portant sur le plastique et les impacts environnementaux du recyclage.

PROJETS PHARE

DONNÉES ET PROCESSUS

Le Centre de géosciences de MINES ParisTech a historiquement développé une expertise reconnue dans le domaine de la modélisation (e.g. géo-mécanique, écoulements, transport réactif). Ces dernières années, il a souhaité aller plus loin dans l'exploitation des données. Nous donnons ici deux exemples, autour de travaux aboutis en 2020. Le premier projet concerne l'introduction de processus physiques dans les simulations géostatistiques, tandis que le second repose sur l'assimilation des données dans le cadre de l'étude de la qualité de l'eau de la Seine.

Combinaison de la géostatistique et de simulations à base physique – Application à la caractérisation de panaches de contaminants

La caractérisation de la contamination dans les sols et les nappes autour d'installations industrielles constitue un enjeu majeur de l'assainissement de ces sites. La thèse de Léa Pannecoucke porte sur la combinaison de deux approches utilisées classiquement pour caractériser les contaminations, la géostatistique et les simulations numériques d'écoulement et de transport, afin d'améliorer les estimations d'activités en radionucléides, grâce à l'introduction d'informations de nature physico-chimique dans un modèle probabiliste. Deux méthodes ont été comparées, fondées sur la génération d'un grand nombre de simulations

de panaches de contaminants, prenant en compte les incertitudes sur les paramètres d'entrée. La première méthode est un krigeage avec dérive externe, où la dérive est la moyenne de la population des panaches simulés. La seconde méthode est un krigeage avec un variogramme empirique non stationnaire (« variogramme numérique »), calculé à partir de la population des panaches simulés, qui reflète la structure et la variabilité spatiales du phénomène étudié. Ces méthodes ont été mises en œuvre sur deux sites, situés au voisinage de la centrale de Tchernobyl.

Simulation du métabolisme de la Seine par assimilation de données en continu

Les données de qualité de l'eau hautes fréquences mesurées par les sondes in situ permettent de calibrer les modèles de simulation de la qualité de l'eau qui utilisent souvent un grand nombre de paramètres pour décrire le fonctionnement biogéochimique des milieux aquatiques. Cependant, cette calibration suppose une paramétrisation statique des modèles qui n'est pas capable de représenter le changement des propriétés physiologiques des communautés vivantes (phytoplancton, bactérie hétérotrophe). Une autre approche pour intégrer les données hautes fréquences est d'utiliser les méthodes d'assimilation de données. Dans ce but, un filtre particulaire a été implémenté dans le logiciel ProSe pour assimiler les données d'oxygène dissous et caractériser les distributions des paramètres du modèle. Les résultats montrent que ProSe-PA (ProSe en Parallèle et Assimilation de données) a beaucoup amélioré la simulation des concentrations en oxygène dissous, surtout pendant les périodes des blooms algaux où la dynamique des phytoplanctons est très difficile à simuler avec le modèle direct ProSe (paramétrisation statique).

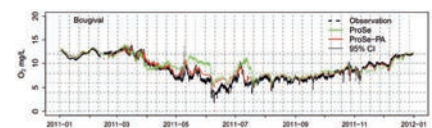


Figure 2 : Concentrations en O₂ simulées par ProSe-PA et ProSe à la station Bougival.

Contacts :
Chantal De Fouquet
Nicolas Flipo

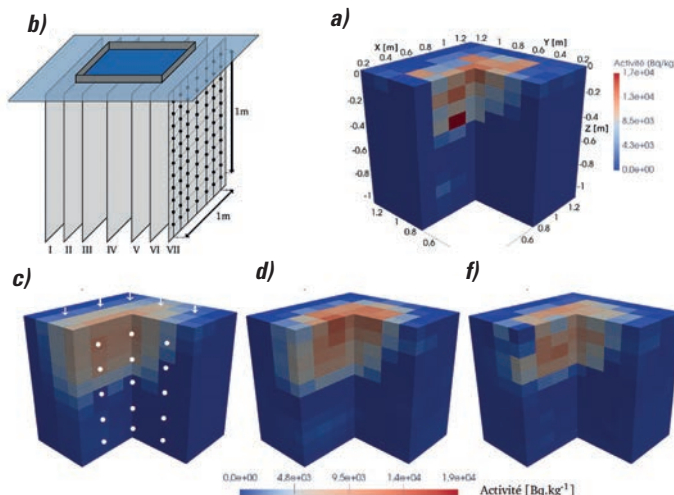


Figure 1 : Grille de mesures d'activité de l'expérience de traçage du site Zaton en 2000 (a) et représentation tridimensionnelle des activités mesurées (b) puis estimées (c) pour un scénario d'échantillonnage (points blancs); de gauche à droite, krigeage « ordinaire », krigeage avec dérive externe et krigeage avec variogramme numérique.

PROJETS H2020 DISCO ET EURAD

SIMULER LE LONG TERME D'UN STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE DÉCHETS RADIOACTIFS

Le stockage des déchets hautement radioactifs dans le sous-sol géologique représente un grand défi pour les géosciences. Ce mode de stockage est considéré comme la solution optimale pour assurer à long terme la protection des populations et de l'environnement. Sa performance repose sur un système multi-barrières composé de la formation géologique (argile, granite) et de matériaux manufacturés afin de retarder la mise en contact des eaux souterraines avec les déchets et le potentiel relâchement d'éléments radioactifs. Ces barrières de confinement subiront des variations de température et de forts gradients géochimiques pendant une centaine de milliers d'années.

Cet horizon temporel à très long terme nécessite des outils de simulation numérique pour estimer les couplages entre les processus thermiques, hydrogéologiques et géochimiques. Le Centre de géosciences développe son propre code de transport réactif - HYTEC - via le consortium du Pôle Géochimie Transport, ce qui lui permet de participer à deux projets de recherche du programme européen Horizon 2020 dédiés à la gestion durable des déchets radioactifs.

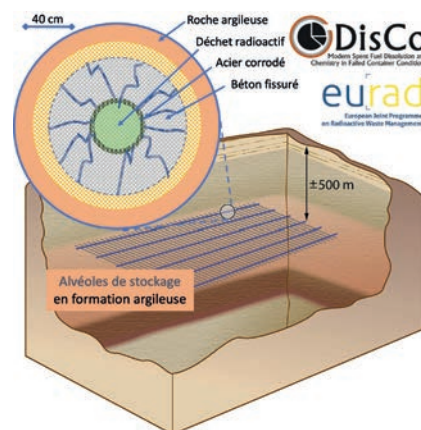
Le projet DISCO, qui a débuté en 2017, vise à combler le manque de connaissances sur la dissolution des combustibles nucléaires alternatifs (MOX, UxPu, O_2) ou de nouvelle génération (UO_2 dopés au Cr...) en stockage. Les simulations HYTEC ont entre autres permis d'étudier l'effet inhibiteur du Fe^{2+} , une espèce réductrice issue de la corrosion du surconteneur en acier, sur la dissolution oxydative du MOX via un mécanisme de consommation rapide du H_2O_2 produit par la radiolyse de l'eau et la précipitation de minéraux de Fe^{3+} à la surface du MOX. Les cinétiques des réactions et la localisation du front redox en fonction de la radioactivité du MOX ont été quantifiées. Des articles scientifiques et la soutenance d'une thèse de doctorat PSL/MINES ParisTech en 2020 ont découlé de ces recherches.

Le projet EURAD/ACED, qui a débuté en 2019, a pour originalité d'aborder les interactions géochimiques de l'ensemble des composants du système multi-barrières sur la base d'expériences dites « intégrales » et de simulations numériques multi-échelles. Les simulations HYTEC en cours vont permettre d'estimer l'évolution spatiale et temporelle du système complexe verre/acier/béton/argilite pour alimenter les modèles d'étude de performance à l'échelle d'un alvéole de stockage. En

perspective, le Centre de géoscience participera, fin 2021, au sous-projet EURAD/MAGIC en modélisant le couplage chimie-mécanique en stockage.

Contact :

Laurent De Windt



Système multi-barrières altéré à long terme en stockage géologique de déchets radioactifs.

MÉTRIQUES ET PRATIQUES DE LA VILLE PROPRE

L'ISIGE ANALYSE LE NETTOIEMENT DES MARCHÉS ALIMENTAIRES PARISIENS

Dans le cadre du projet Emergence « Métriques et Pratiques de la Ville Propre » (financé par la Ville de Paris), l'ISIGE a développé plusieurs actions de recherche et de formation par la recherche. Le projet cherche à comprendre l'évolution des pratiques de propreté et les transformations induites par un supposé tournant écologique ou durabiliste de ces politiques. Le dernier mois du programme Envim Europe a ainsi été l'occasion pour les étudiant.es concerné.es de travailler sur l'un des volets de ce projet, en analysant le nettoyage des marchés alimentaires parisiens. En lien avec les services de la Direction Propreté et Eau de la Ville de Paris, étudiant.es et chercheur ont pu enrichir l'analyse documentaire et les entretiens avec les différents acteurs publics et privés du marché et de son nettoyage de visites de terrain dans deux marchés parisiens, le marché Joinville et le marché Berthier. La situation fut d'autant plus particulière qu'il s'agissait des premiers marchés ouverts à la suite du premier confinement, dans une organisation qui restait encore tâtonnante et angoissante en termes sanitaires. Cela a permis de voir en acte un exemple

de « mundane governance », et notamment la manière dont certains dispositifs de propreté sont contournés, transformés, réagencés, dans une négociation permanente entre les équipes de la Ville, les délégataires privés des marchés, les commerçant.es et les riverain.es. C'est cette négociation permanente qui permet de réajuster

les métriques classiques de la propreté, et qui peine encore à faire advenir une vraie écologisation des pratiques de propreté urbaine.

Contact :

Cathy Descamps-Large



Nettoyement du marché de Joinville.

ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS

Le Département énergétique et procédés (DEP) est une Unité de recherche commune MINES ParisTech – Armines qui se situe parmi les principaux acteurs de la recherche française sur l'efficacité énergétique et les filières énergétiques du futur.



4 CENTRES DE RECHERCHE

■ CENTRE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES

(CES MINES ParisTech)

Le CES se concentre sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes complexes. Ces systèmes énergétiques concernent les bâtiments, les procédés industriels et le transport. Outre le critère énergétique, d'autres critères essentiels comme les coûts, la compacité, l'étanchéité, la flexibilité et la contrôlabilité sont pris en compte.

■ CENTRE THERMODYNAMIQUE DES PROCÉDÉS

(CTP MINES ParisTech)

Les travaux du CTP concernent principalement l'étude expérimentale et la modélisation des diagrammes de phase de mélanges moléculaires complexes intéressant l'industrie du génie des procédés. Il met en œuvre des compétences en métrologie, calcul numérique, conception d'équipements, thermodynamique chimique et cinétique-transferts de matière et de chaleur.

■ CENTRE OBSERVATION, IMPACTS, ÉNERGIE

(O.I.E MINES ParisTech)

Le Centre O.I.E s'intéresse à la complexité spatio-temporelle des ressources en énergies renouvelables et à son influence sur les impacts environnementaux. Il met en œuvre des compétences en météorologie, observation de la Terre, mathématiques appliquées, métrologie et sciences de l'information et de l'environnement.

■ CENTRE PROCÉDÉS, ÉNERGIES RENOUVELABLES ET SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

(PERSEE MINES ParisTech)

Les activités de Persée sont centrées sur les nouvelles technologies de l'énergie et les énergies renouvelables. Elles sont structurées autour de trois thématiques : matériaux et composants pour l'énergie ; procédés et technologies durables de conversion et de stockage d'énergie ; énergies renouvelables et systèmes électriques intelligents.

« Efficacité énergétique, intégration des énergies renouvelables et décarbonation des procédés et des combustibles sont les axes stratégiques du département. »



Trois questions à

PHILIPPE RIVIÈRE

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

SPÉCIALITÉ DOCTORALE

■ Énergétique et procédés

- Responsable : Christophe Coquelet (CTP MINES ParisTech)

FORMATIONS DE NIVEAU MASTER (DNM)

MASTERS INTERNATIONAUX (MI)

■ MI_CARE : Énergies propres et renouvelables

- Responsable : Alain Thorel (CMAT MINES ParisTech)

■ MI_TRADD : Transport et développement durable (inter-départements)

- Responsable : Shenle Pan (CGS MINES ParisTech)

■ Master PSL : Énergie

- Responsable : Assaad Zoughaib (CES MINES ParisTech)

FORMATIONS POST-MASTER MASTÈRES SPÉCIALISÉS

■ MS_ALEF : International Energy Management

- Responsable : François-Pascal Neirac (PERSEE MINES ParisTech)

■ MS_EnR : Énergies renouvelables

- Responsable : Andrea Michiorri (PERSEE MINES ParisTech)

■ MS_GAZ : Ingénierie et gestion du gaz

- Responsable : Chakib Bouallou (CES MINES ParisTech)

■ MS_IRVE (inter-départements)

Manager de projets en infrastructure de recharges et véhicules électriques

- Responsable : Akin Kazakci (CGS MINES ParisTech)

FORMATION D'INGÉNIEUR ISUPFERE

■ Apprentissage

- Responsable : Pascal Stabat (CES MINES ParisTech)

■ Formation continue

- Responsable : Bruno Duplessis (CES MINES ParisTech)

CHAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

■ Chaire Éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures

- Responsable : Bruno Peuportier (CES MINES ParisTech)

■ LES SPÉCIFICITÉS DU DÉPARTEMENT ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS ?

Philippe Rivière : Le DEP s'intéresse aux systèmes énergétiques et à la maîtrise de leurs émissions. Les activités de recherche des 4 centres qui le composent s'inscrivent dans trois axes stratégiques que sont l'efficacité énergétique, l'intégration des énergies renouvelables et la décarbonation des procédés et des combustibles. Cette recherche traite des nouvelles technologies de l'énergie appliquées aux secteurs du bâtiment, de l'industrie et des transports avec une approche allant du développement de matériaux et composants à l'analyse globale des systèmes du point de vue efficacité et impacts environnementaux. Une partie importante de cette recherche est expérimentale et bâtie autour de relations collaboratives avec l'industrie allant de la recherche fondamentale jusqu'à la preuve de concept. De nouvelles méthodes et des outils numériques en support de la transition énergétique sont également développés. Le DEP participe activement à l'enseignement École et PSL, tant au niveau des cycles ingénieurs qu'au niveau des masters, des formations spécialisées et du doctorat.

■ QUELLES ONT ÉTÉ LES RÉALISATIONS ET/OU LES ÉVOLUTIONS EN 2020 ?

P.R. : La publication de « la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France » a renforcé la visibilité des recherches menées au DEP dans le domaine, et de leurs succès, en 2020. L'accord de collaboration avec la société MONO-LITHMaterials sur la décarbonation du méthane par procédé plasma a été reconduit jusqu'à fin 2025. L'accord-cadre avec TOTAL, dans le cadre de la recherche de nouveaux solvants pour le traitement du gaz naturel, a aussi été reconduit. Un accord-cadre de cinq ans avec la société SYMBIO, sur les piles à combustibles pour le transport, a également été conclu. Le DEP a organisé le 5e séminaire portant sur les fluides cryogéniques en tant que vecteur d'énergie. Les recherches sur la caractérisation et la modélisation de ces vecteurs ont été consacrées par plusieurs collaborations autour de l'optimisation des procédés de purification et de liquéfaction. Un de ces projets est mené en collaboration avec la société à mission SUBLIME Energie, spin-off de MINES ParisTech, qui a également signé avec l'École un accord d'exploitation exclusif d'une technologie de liquéfaction développée au DEP. Dans le cadre de la refonte du cycle Ingénieur civil, le DEP a contribué à créer des trimestres recherche portant sur l'efficacité énergétique, la transition énergétique, l'optimisation des procédés et les sciences de la donnée pour les énergies renouvelables. Les élèves ingénieurs ont ainsi pu travailler avec les chercheurs des centres du DEP sur leurs projets de recherche actuels. À cette occasion, deux enseignements spécialisés sur l'efficacité énergétique et les procédés pour l'énergie ont été créés. À noter également le lancement du 3^e MOOC du DEP portant sur la thermodynamique expérimentale. (<https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/thermodynamique-experimentale/>)

■ QUELS SONT LES PROJETS/ AMBITIONS POUR 2021 ?

P.R. : Le département accompagnera l'évolution du cursus de troisième année du cycle Ingénieur civil dans le cadre de la refonte, en proposant deux nouveaux enseignements spécialisés ; le premier, sur l'hydrogène, et le second, sur la modélisation des systèmes électriques, deux sujets au cœur de l'actualité de la transition énergétique. Le département organisera, en 2021, un séminaire qui permettra d'échanger sur l'évolution des enseignements et des thématiques de recherche du DEP. Cette année verra aussi le lancement et l'inauguration de la plateforme PSL Paris FlowTech, lauréate de l'appel à projets SESAME filières PIA de la région Île-de-France, à laquelle contribue le DEP.

PROJETS PHARE

ASSURER LA BONNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

LA CARACTÉRISATION DES LIQUIDES CRYOGÉNIQUES

La lutte contre le réchauffement climatique nous amène depuis les années 2000 à reconsidérer et repenser l'utilisation des petites molécules, comme l'hydrogène et/ou le méthane, dont la combustion émet moins de dioxyde de carbone que les autres énergies fossiles. Ces vecteurs énergétiques devraient permettre d'assurer la bonne transition énergétique et devenir incontournables dans le mix énergétique de demain. Cependant, comme ces molécules sont à l'état gazeux aux conditions standard de température et de pression, l'utilisation massive de ces vecteurs énergétiques est conditionnée par l'augmentation de leurs densités énergétiques (quantité d'énergie par unité de volume) pour permettre leur transport et leur stockage de la manière la plus efficace possible.

Résoudre des verrous technologiques

L'augmentation de la densité énergétique est généralement réalisée par des opérations de compression ou de liquéfaction. Cette dernière

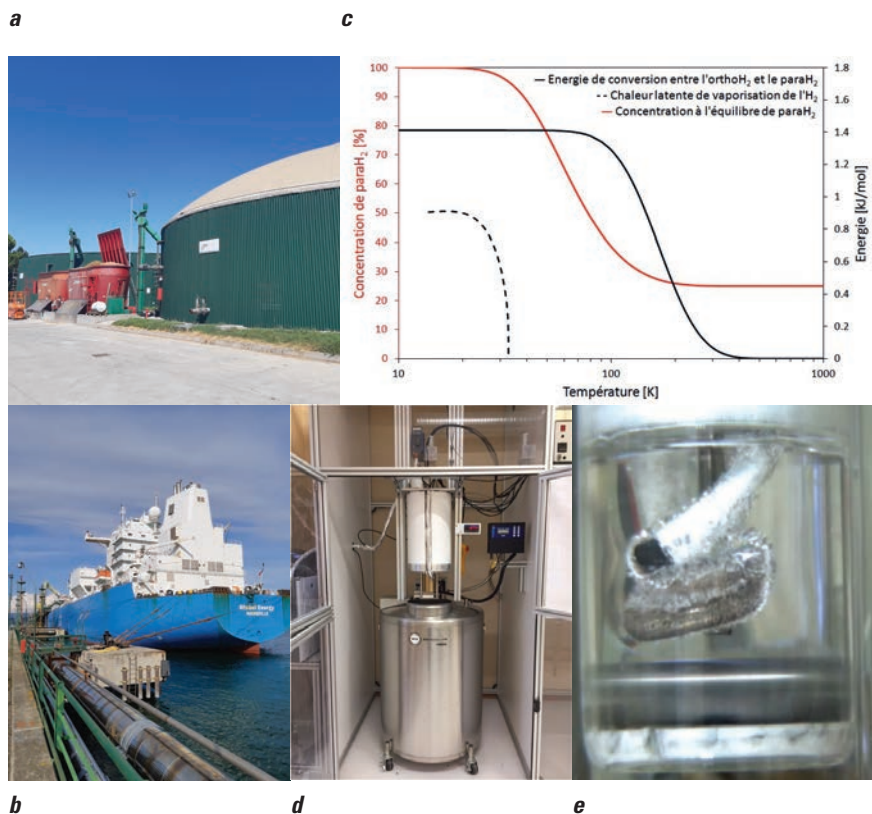
est considérée comme la plus efficace, mais sa réalisation nécessite de résoudre plusieurs verrous technologiques comme, par exemple, la purification du gaz avant sa liquéfaction, l'optimisation de la consommation énergétique nécessaire, notamment pour atteindre des températures cryogéniques (environ -160°C pour le méthane et -250°C pour l'hydrogène), et la réduction du phénomène d'évaporation occasionnant une perte non négligeable de produit.

Accompagner les industriels

L'activité de recherche (travail expérimental et modélisation) sur le comportement des fluides à basse température développée au Centre thermodynamique des procédés (CTP MINES ParisTech) s'articule autour de la détermination des propriétés thermophysiques et des effets quantiques des fluides cryogéniques. Ces aspects sont essentiels pour la conception des procédés innovants de purification et de liquéfaction et pour l'amélioration des performances des procédés existants. Afin d'être en phase et d'accompagner les industriels dans la mise en place de cette transition énergétique, le CTP organise annuellement le séminaire « Cryogenic liquids as energy carriers ». La cinquième édition, en 2020, portait sur la liquéfaction du méthane et de l'hydrogène et sur l'importance de la maîtrise des diagrammes de phases incluant les phases solides pour un dimensionnement optimisé des procédés. Ce séminaire a permis de réunir trois industriels - Shell, Engie et Linde - autour d'un projet de recherche intitulé « *Evaluation of the crystallization risk in LNG production* ». Une suite de ce projet est prévue en 2021, avec d'autres acteurs industriels.

S'agissant des autres projets réalisés en 2020, plusieurs collaborations industrielles avec Air Liquide, Tecnimont et SUBLIME ENERGIE ont permis de travailler sur le développement et l'optimisation de nouveaux procédés de purification et de liquéfaction de l'hydrogène, du gaz naturel et du biométhane. Ces nombreuses activités de recherche autour de la thermodynamique des fluides et solide en condition cryogénique témoignent de la part prépondérante de ce domaine de recherche pour le développement des procédés et leur optimisation énergétique. En effet, ces procédés constituent le socle pour la mise en œuvre de nouvelles filières qui promeuvent l'utilisation de ces nouveaux vecteurs énergétiques.

Contacts :
Paolo Stringari,
Marco Campestrini



a : Site de méthanisation

b : Méthanier

c : Modélisation de la conversion entre les formes ortho et para de l'hydrogène

d et e : Dispositifs expérimentaux du CTP MINES ParisTech

INCER-ACV

INCERTITUDES ET VARIABILITÉ EN ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

La méthodologie d'ACV est majoritairement utilisée en gestion environnementale comme outil d'aide à la décision. La précision et la qualité des résultats des études d'impacts environnementaux sont primordiales. Bien qu'il existe un cadre méthodologique normé, les résultats d'études présentent de fortes variations, s'appuyant sur des données moyennées et des modèles pas toujours représentatifs des situations spécifiques étudiées.

Dans le cadre du projet INCER-ACV (2017-2020), financé par l'Ademe, le centre O.I.E MINES ParisTech et ARMINES et Engie Lab Crigen ont développé un outil qui permet de prendre en compte les incertitudes et la variabilité dans les ACV. Cette solution, accessible et facile à mettre en œuvre par les acteurs socio-économiques, se compose d'un protocole qui formalise la méthodologie à appliquer pas-à-pas, et de l'implémentation informatique de ce protocole, la librairie lca_algebraic.

L'outil INCER-ACV met à disposition des utilisateurs les éléments suivants :

- un mode d'emploi opérationnel pour la formalisation de modèles paramétrés pour l'évaluation environnementale par ACV des filières ou ensemble de systèmes énergétiques ;

- des fonctionnalités pour une prise en compte plus facile et rapide des incertitudes et de la variabilité influençant les résultats des ACV ;
- l'estimation de l'intervalle des résultats d'ACV et de leur probabilité ;
- l'identification des paramètres influençant les résultats d'impacts environnementaux pour une collecte de données plus ciblée ;
- une comparaison plus précise entre divers scénarios pour un procédé donné ;
- des fonctionnalités permettant aux experts en ACV de développer des modèles simplifiés pour des estimations rapides d'impacts environnementaux avec un nombre réduit de paramètres d'entrée ;

- des résultats environnementaux détaillés pour une prise de décision plus informée.

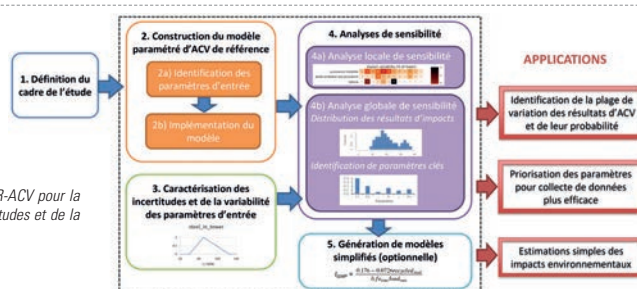
L'application du protocole et les résultats des cas d'études, sur les systèmes photovoltaïques et éoliens flottants, ont été présentés aux acteurs français du domaine et aux acteurs internationaux lors de la conférence Brightcon 2020, le 20 octobre. L'outil INCER-ACV a également contribué à la réalisation d'autres projets du centre, comme le projet Horizon 2020 GEOENVI (2018-2021).

> **Contacts :**

Paula Perez-Lopez, Raphaël Jolivet

PROTOCOLE
INCER-ACV

Étapes du protocole INCER-ACV pour la prise en compte des incertitudes et de la variabilité en ACV.



FILIÈRE HYDROGÈNE

UN ACCORD-CADRE AVEC SYMBIO

Décarbonation de l'industrie, développement de la mobilité lourde et soutien à la recherche, à l'innovation et au développement de compétences sont les trois priorités de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France. L'accord-cadre signé en 2020 avec SYMBIO s'inscrit pleinement dans cette stratégie. Il vient couronner 30 années d'investissement au service du développement de la filière et 10 ans de collaboration avec cette jeune société particulièrement innovante. Il s'accompagne, dès sa signature, de trois projets d'envergure, dans les domaines de la production d'hydrogène vert, du refroidissement évaporatif et de l'hybridation pour les systèmes piles à combustible. La production d'hydrogène vert est un pilier essentiel

de la filière et l'utilisation de vecteurs liquides et renouvelables un atout dans le contexte du développement d'une nouvelle mobilité propre. Il en va de la facilité d'usage et de l'autonomie des véhicules concernés. La gestion thermique et électrique des systèmes piles à combustible développés pour la mobilité hydrogène requiert des innovations technologiques (par ex., refroidissement, hybridation...) qui seront étudiées dans le cadre des deux autres projets partenariaux avec pour objectif d'améliorer les performances et la durée de vie des systèmes tout en réduisant les coûts.

En parallèle, des discussions ont été engagées pour exploiter toutes les synergies possibles entre les programmes de formation développés par l'École

et la SYMBIO Hydrogen Academy. Une première concrétisation est prévue dans le cadre de l'Enseignement spécialisé sur la filière hydrogène-énergie qui devrait ouvrir à MINES ParisTech dès la rentrée 2021, en étroite collaboration avec les collègues du groupe H2MINES.

> **Contact :**

Christian Beauger



Exemple de pile à combustible SYMBIO testée au Centre Persée.

DEUX COLLABORATIONS STRATÉGIQUES

LA THERMODYNAMIQUE AU SERVICE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'essor de la méthanisation agricole marque l'arrivée de nouveaux acteurs de l'économie circulaire dans les territoires. Ceci ouvre la voie vers le développement de boucles locales de production d'énergie, de matières fertilisantes et également de coproduits, comme le CO₂ d'origine biologique, très utiles dans diverses applications industrielles.

Le CES MINES ParisTech est fort d'un savoir-faire unique en thermodynamique des systèmes cryogéniques qui a permis le développement de plusieurs solutions innovantes de valorisation du biogaz. 2020 a vu la mise en place de 2 collaborations stratégiques.

- Le partenariat entre le CES MINES ParisTech, la société CryoCollect SAS, créée par de jeunes docteurs du Centre, et la société VERDEMIL BIOGAZ a permis de mettre en œuvre la première unité de production de CO₂. Une collaboration active et étroite entre les trois partenaires a assuré la réussite du projet, depuis la phase de recherche jusqu'à la phase d'industrialisation, en un temps relativement court de 18 mois.
- La 2^e collaboration a permis à la startup SUBLIME Énergie, société à mission et spin-off de MINES ParisTech (cf. p. 13), de développer une technologie unique au monde de liquéfaction de biogaz brut. Objectif : démocratiser

la méthanisation en milieu diffus, et ainsi augmenter la taille du gisement de biomasse méthanisable, tout en réduisant les coûts de la filière de production de bioGNV et de biométhane.

Les travaux du CES se poursuivront pour développer la mobilité à faible impact, en utilisant des carburants issus de la biomasse ainsi que l'hydrogène liquide.

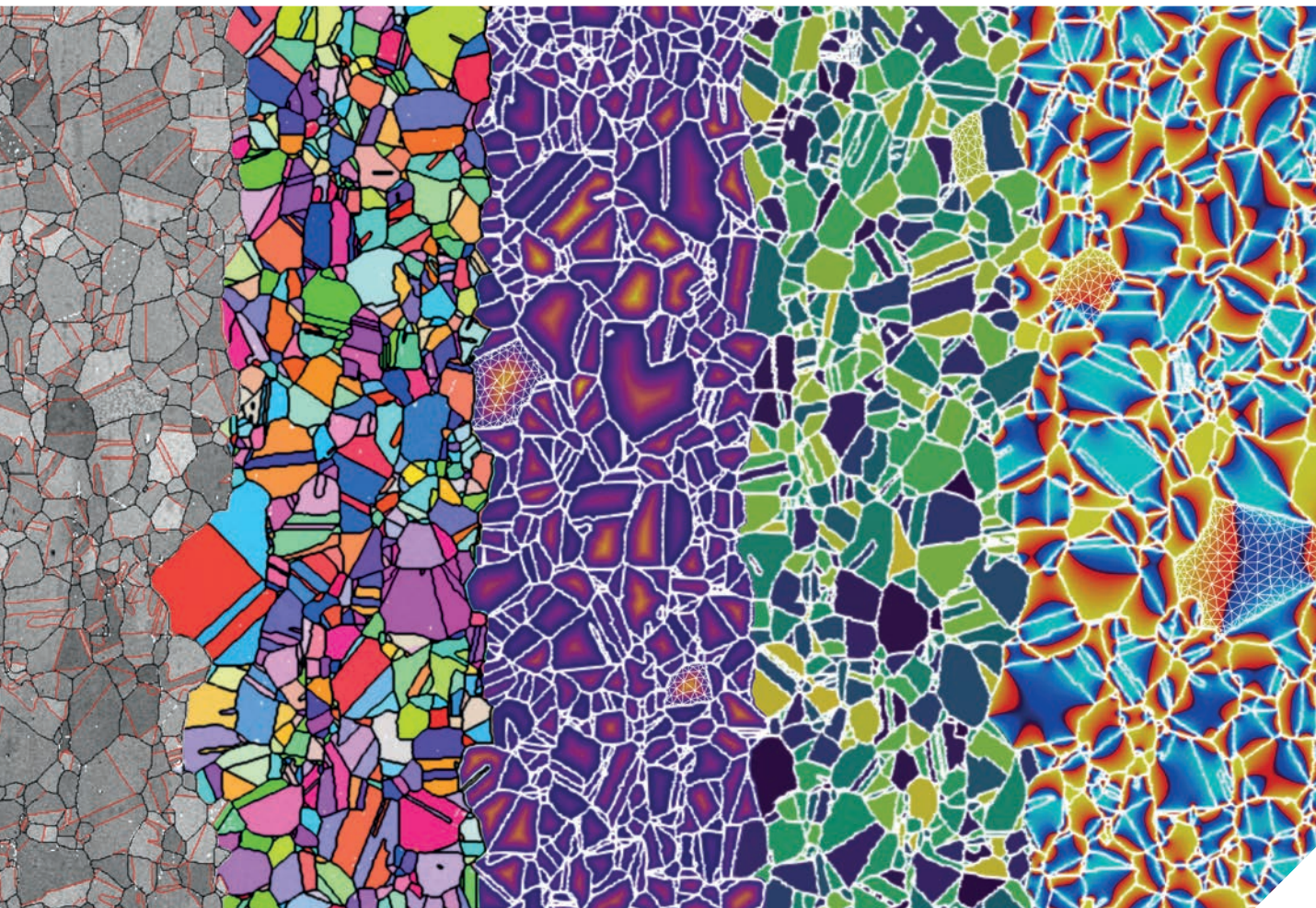


SUBLIME Énergie développe une solution unique de liquéfaction de biogaz.

> **Contact :**
Maroun Nemer

MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX

Nous n'avons de cesse d'inventer et de réinventer les matériaux. Élaborés ou mis en forme « sur mesure », ils deviennent plus légers, plus sûrs, plus durables, plus performants, plus sobres en matières premières, mieux recyclables... Ils accompagnent notre vie quotidienne, sont les clés des révolutions technologiques de demain et résident au cœur des défis énergétiques ou écologiques qui nous sont posés.



2 CENTRES DE RECHERCHE

■ CENTRE DES MATÉRIAUX (CMAT MINES ParisTech)

Les activités du Centre des matériaux (UMR CNRS 7633) s'organisent principalement autour d'un axe élaboration-expérimentation-modélisation-simulation destiné à comprendre le comportement des matériaux à différentes échelles et sous des sollicitations complexes. La recherche y est menée en partenariat avec l'industrie sur des thèmes d'actualité tels l'énergie, les transports ou le biomédical.

■ CENTRE DE MISE EN FORME DES MATÉRIAUX (CEMEF MINES ParisTech)

Le CEMEF (UMR CNRS 7635) développe ses recherches - tant expérimentales que numériques - dans le domaine de la mécanique numérique et de la science et ingénierie des matériaux. Elles visent entre autres à comprendre les évolutions microstructurales et mécaniques des matériaux lors de leur mise en forme et leur impact sur les propriétés finales.



La science des matériaux est, par essence, multidisciplinaire, aux frontières de la chimie, de la physique, de la mécanique et, parfois, de la biologie. »



Trois questions à

MARIE-HÉLÈNE BERGER

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

SPÉCIALITÉS DOCTORALES

■ Sciences et génie des matériaux

- Responsable : Anne-Françoise Gourgues

■ Mécanique numérique et matériaux

- Responsable : Pierre-Olivier Bouchard

■ Mécanique

- Responsable : Vincent Maurel

■ Mathématiques numériques, Calcul intensif et Données

- Responsable : Elie Hachem

FORMATIONS

DE NIVEAU MASTER (DNM)

■ Mn_BME Paris Biomedical Engineering

- Responsable : Laurent Corté

■ Mn_P3M Physique des matériaux, mécanique et modélisation numérique

- Responsable : Michel Vincent

■ MASTER PSL : Sciences et génie des matériaux

- Responsable : Cécilie Duhamel

FORMATIONS POST-MASTER

MASTÈRES SPÉCIALISÉS

■ MS MaPMod : Digital Materials & Advanced Processing Modelling

- Responsable : Daniel Pino Muñoz

■ MS DMS : Design des matériaux et des structures

- Responsable : Farida Azzouz

■ MS HPC-AI : High Performance Computing-Artificial Intelligence

- Responsable : Youssef Mesri

CHAIRES D'ENSEIGNEMENT

ET DE RECHERCHE

■ Chaire DEEP

- Responsable : Sabine Cantournet

■ Chaire ANR Topaze

- Responsable : Nathalie Bozzolo

■ Chaire ANR Digimu

- Responsable : Marc Bernacki

■ Chaire ANR Infinity

- Responsable : Elie Hachem

■ Chaire BigMeca

- Responsable : Henry Proudon

■ Chaire MESSIAH

- Responsable : Jacques Besson

■ COMMENT DÉFINIR LA SCIENCE DES MATÉRIAUX ?

Marie-Hélène Berger : La science des matériaux est, par essence, multidisciplinaire, aux frontières de la chimie, de la physique, de la mécanique et, parfois, de la biologie. Elle répond aux défis technologiques, environnementaux ou de santé publique qui nous sont posés et qui exigent le développement de matériaux aux fonctionnalités nouvelles et bien souvent multiples. Transversale, elle s'appuie sur une compréhension fondamentale des transformations de la matière, en lien avec ses propriétés, avec, comme finalité, le développement de matériaux à usage technologique. Les activités du département sont donc fortement ancrées dans le monde socio-économique, avec un partenariat industriel revendiqué.

Nous partons d'un cahier des charges comprenant les propriétés recherchées - majoritairement mécaniques mais aussi fonctionnelles -, l'environnement d'usage, la durée de vie attendue et une exigence croissante de recyclabilité pour concevoir un matériau (voire un multi-matériau), ainsi que le procédé qui permettra de l'élaborer. Le développement de matériaux à haute performance est ainsi indissociable de celui des procédés d'élaboration et de mise en forme.

■ QUEL EST LE SPECTRE DES RECHERCHES DANS CE DOMAINE À MINES PARISTECH ?

M-H.B : Nous nous appuyons sur des méthodes de caractérisation fine de l'organisation de la matière (par microscopies électroniques, tomographie, spectroscopies multiples...) et du comportement physique ou mécanique du matériau. Une instrumentation toujours plus précise est développée, tant pour le contrôle des procédés que pour la caractérisation des propriétés des matériaux élaborés. La modélisation numérique représente un volet essentiel de notre activité, comme outil d'investigation et de prédiction des procédés, des microstructures et des comportements. Elle est multi-physique et multi-échelles, allant de la modélisation d'un petit nombre d'atomes au dimensionnement d'une structure.

Nous couvrons un large spectre de matériaux (métaux et alliages, verres, céramiques, polymères et élastomères, composites) et de procédés. Les principaux secteurs industriels sont la première transformation, l'aérospatiale, l'énergie et le transport terrestre. Une part croissante de nos activités est tournée vers le développement de matériaux réduisant les impacts environnementaux, tant dans leur élaboration que dans leur utilisation : piles à combustible pour les transports, matériaux bio-sourcés pour la construction, allègement des structures, procédés sobres en matière première...

■ QUELS ONT ÉTÉ LES FAITS MARQUANTS EN 2020 ?

M-H.B : Nous avons eu le plaisir d'intégrer dans nos équipes des élèves ingénieurs de 2^e année, dans le cadre de leur trimestre recherche. Pendant huit semaines, ils ont ainsi été au plus près de la recherche en train de se faire autour des disciplines phares du département (conception de nouveaux matériaux, maîtrise des écoulements complexes, et...).

2020 a été l'occasion d'une réflexion commune pour articuler nos travaux scientifiques sur les polymères et composites autour des grands défis technologiques et sociétaux que sont la transition énergétique, la transformation numérique, le développement durable et la santé. Deux nouvelles chaires ANR ont vu le jour, la chaire MESSIAH (cf. p. 28), pour la prédiction des durées de vie des structures industrielles de production et de transport de l'hydrogène par une approche novatrice, et la chaire TOPAZE, pour l'optimisation du rendement des moteurs d'avion et la réduction de leur impact sur l'environnement (cf. p. 17).

De prestigieux prix ont été décernés à nos chercheurs : médaille d'argent du CNRS à Tatiana Budtova ; médaille de l'air et de l'espace à Georges Cailletaud ; « Fellow Award » de l'International Association for Computational Mechanics à Elie Hachem, et médaille RIST de la SF2M à Daniel Pino Muñoz (cf. p. 14).

PROJETS PHARE

CHAIRE MESSIAH

MINI-ÉPROUVETTES POUR LE SUIVI EN SERVICE DES STRUCTURES AVEC APPLICATION AU TRANSPORT D'HYDROGÈNE

Les structures industrielles de production et de transport d'énergie sont conçues pour avoir une durée de vie supérieure à 40 ans. La connaissance de l'évolution du comportement des matériaux sur de très longues périodes est donc cruciale pour assurer la sécurité et la fiabilité de ces installations. Par ailleurs, dans le cadre de la décarbonation des sources d'énergie, l'hydrogène produit par exemple par électrolyse de l'eau jouera un rôle important. Il est envisagé de collecter et de distribuer l'hydrogène ainsi produit (en mélange avec du méthane fossile ou du biogaz) en employant les réseaux existants. Il est alors crucial de qualifier l'aptitude des différents tronçons au transport de l'hydrogène gazeux.

Afin de permettre le suivi de l'évolution des matériaux tout au long de la durée de vie des installations et de qualifier leur aptitude au transport de l'hydrogène, le programme de la chaire MESSIAH propose d'utiliser des mini-épreuves usinées dans des coupons extraits des installations. L'utilisation de mini-épreuves permet de réaliser des tests à partir de prélèvements quasi non destructifs pouvant ainsi éviter l'arrêt du transit ou la réparation ultérieure des installations concernées, opérations entraînant des coûts élevés et des contraintes opérationnelles non négligeables. Elles permettent également de réaliser les essais pour le contrôle de production, la réception des équipements et le développement de nouveaux matériaux pour lesquels peu de matière est disponible.

Les mini-épreuves seront constituées de barreaux de traction, de barreaux entaillés, d'épreuves Charpy mais aussi d'épreuves de mécanique de la rupture telles que les épreuves de

Compact Tension (CT) et les Single Edge Notch Tensile (SENT) qui devront être miniaturisées. Les résultats obtenus sur les mini-épreuves seront comparés à ceux obtenus pour des épreuves « standard ». L'emploi de mini-épreuves permettra également de caractériser des zones hétérogènes à l'échelle du millimètre. Il s'agit en particulier des soudures et des zones ségréguées dans les gros composants forgés. La technique peut être employée sur les matériaux à l'état de réception ainsi qu'après vieillissement. Ce protocole expérimental sera de plus adapté pour qualifier l'effet de l'hydrogène. Il est envisagé (par ordre de difficulté) de réaliser des essais :

- (i) sur des mini-épreuves préalablement chargées en hydrogène par électrolyse,
- (ii) les mêmes épreuves mais en maintenant l'électrolyse durant l'essai mécanique,
- (iii) enfin, en réalisant les essais sous pression partielle d'hydrogène.

La comparaison des résultats avec le matériau non chargé permettra alors de qualifier l'effet de l'hydrogène sur le comportement mécanique et la rupture.

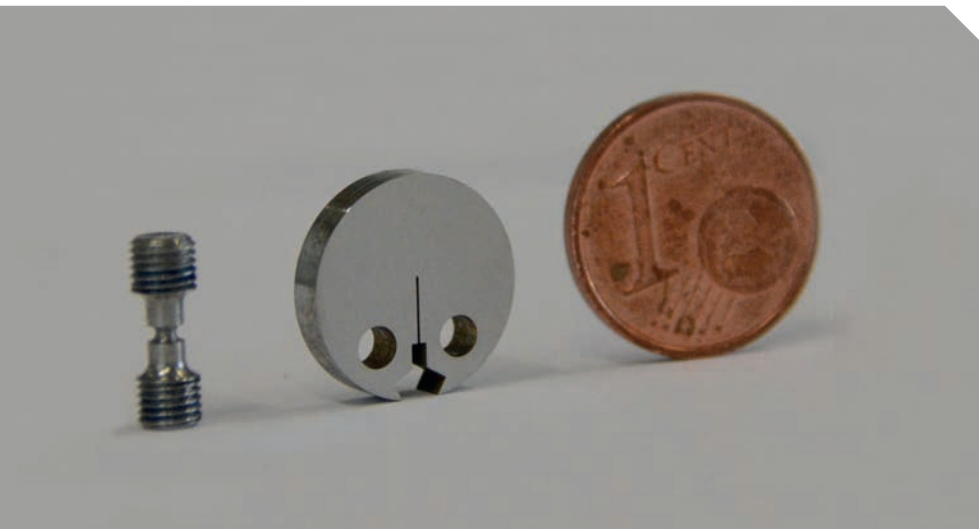
Les objectifs du projet sont :

- développer une procédure de caractérisation mécanique du comportement plastique et à la rupture à partir de coupons millimétriques prélevés in situ ;
- étendre cette procédure pour étudier la fragilisation par l'hydrogène ;
- proposer une méthodologie d'analyse des résultats et de transfert vers les épreuves « standard » et les structures.

Sur la base de ces résultats, les partenaires universitaires et industriels rédigeront des lignes directrices pour la réalisation d'essais sur des épreuves de taille inférieure, l'interprétation de ces essais et le transfert des résultats aux épreuves standardisées. La rédaction de ces lignes directrices, ou « pré-normes », contribuera à diffuser les résultats du programme de la chaire auprès de l'industrie et d'autres partenaires universitaires.

La chaire MESSIAH regroupe un producteur de tubes d'acier employés dans le transport de l'énergie (Mannesmann Precision Tube) et trois acteurs majeurs (GRTgaz, EdF, Air Liquide). Un développeur/diffuseur de logiciels (Transvalor) assurera la valorisation des développements numériques réalisés au cours du projet.

> Contacts :
Jacques Besson
Yazid Madi



Vue de mini-épreuves. A gauche, épreuve axisymétrique entaillée (caractérisation du comportement et de l'amorçage de la rupture). Au centre épreuve DCT (caractérisation de la résistance à la fissuration).

OSIRIS-REX

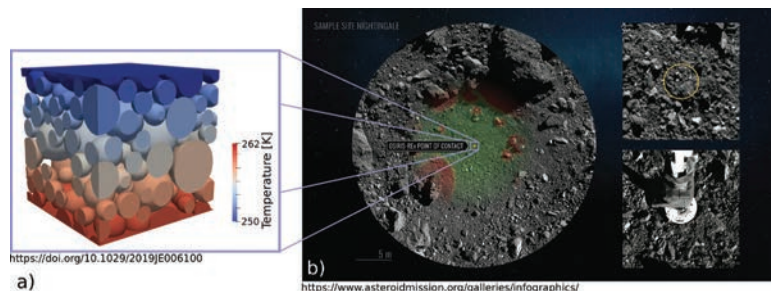
LA THERMIQUE DES CAILLOUX DE L'ÂGE DE NOTRE SYSTÈME SOLAIRE

L'exploration de notre système solaire est actuellement au centre des intérêts internationaux. Marc Bernacki et Daniel Pino Muñoz*, chercheurs au CEMEF, font partie de la mission spatiale Osiris-Rex qui a pour but de récupérer un échantillon de la surface de Bénou (astéroïde cible de la mission). Nos chercheurs ont mis au point un modèle de calcul thermique unique au monde qui permet de simuler la réponse thermique de la surface de l'astéroïde avec une grande précision. Ce modèle a été utilisé dans la sélection du meilleur site d'échantillonnage sur la surface de Bénou. L'opération s'est bien déroulée et les échantillons récoltés en octobre 2020 seront de retour sur terre en 2023. Ce projet est possible grâce à des financements de

l'Université Côte d'Azur, du CNES, de la NASA et de l'Université de l'Arizona. Les modèles développés seront utilisés dans le cadre d'autres missions spatiales et même dans des applications industrielles où le rayonnement thermique est important.

> Contacts:
Daniel Pino Muñoz,
Marc Bernacki

*Daniel Pino Muñoz est lauréat 2020 de la Médaille Jean Rist SF2M



Les simulations faites à l'aide de notre modèle numérique (a) ont aidé à la sélection du site d'échantillonnage. L'image à droite (b) montre le site sur lequel le prélèvement de l'échantillon a été effectué (surnommé Nightingale).

MIEUX PRÉDIRE LA DURABILITÉ DES RÉSERVOIRS COMPOSITES HYPERBARES

4 JEUNES CHERCHEURS INTERNATIONAUX AU CMAT

Le programme ITN FiBreMoD (Actions Marie-Skłodowska-Curie, 2016-2020) a réuni 9 bénéficiaires et 3 organisations partenaires pour former 13 jeunes chercheurs de 8 nationalités différentes afin qu'ils deviennent des experts polyvalents et interdisciplinaires dans le domaine des composites. Ils ont été formés par des scientifiques de premier plan dans ce domaine et ont eu accès à des installations de classe mondiale. Le réseau FiBreMoD est fier des résultats obtenus. Il s'agit notamment d'ensembles de données uniques sur les propriétés des constituants, de modèles multi-échelles adaptés à un usage industriel, de nouvelles approches pour tenir compte de la présence de défauts et d'effets dépendant du temps et de la température, de modèles pour prédire le com-

portement sous charge cyclique et de méthodologies de tomographie in situ ultrarapide à haute résolution pour la validation des modèles. MINES ParisTech a largement contribué à ce réseau en co-dirigeant le travail scientifique de 4 de ces jeunes chercheurs et en produisant plusieurs résultats innovants. Pour le Centre des matériaux de MINES ParisTech, l'enjeu était de faire progresser les connaissances et les méthodes permettant de prédire la durabilité des réservoirs composites destinés au stockage embarqué de l'hydrogène, en travaillant de l'échelle des constituants à la structure. Ce thème représente une vingtaine de communications dont 5 articles publiés dans des revues scientifiques de rang A sur les quatre années du programme.

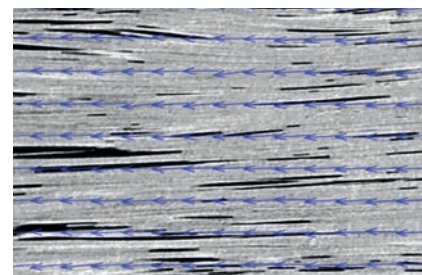


Image de tomographie X montrant la microstructure composite sur un pli du réservoir avec ses défauts : porosités et désalignement des renforts (thèse de Martinus Widjaja, 2020).

> Contact:
Sébastien Joannes

BAISSE DES ÉMISSIONS DE CO₂ DANS L'AVIATION

INVESTIGATIONS MICROSTRUCTURALES DU VDM ALLOY 780 AU COURS DU FORGEAGE

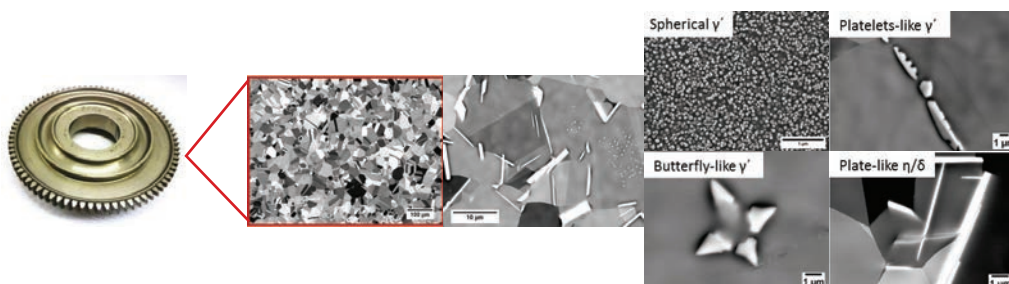
La société VDM Metals International a développé un nouveau superalliage, le VDM Alloy 780, à base nickel pour les disques de turbine des moteurs d'avion. L'utilisation de ce nouveau matériau permettrait une baisse des émissions de CO₂. La mise au point de l'alliage passe par l'étude de son comportement microstructural lors des opérations de forgeage à chaud. D'une microstructure homogène dépendent

les bonnes propriétés mécaniques des disques de turbine. Les gammes de mise en forme consistent en une séquence complexe de déformations et traitements thermiques à très haute température et plusieurs phénomènes métallurgiques conditionnent les évolutions microstructurales.

Cette étude est menée par l'équipe MSR du CEMEF MINES ParisTech, avec Juhi Sharma*, doctorante.

Des essais thermomécaniques sont réalisés dans différentes conditions représentatives du procédé industriel. Ce travail vise à décrire et modéliser les mécanismes et cinétiques de recristallisation, de précipitation et de croissance des grains. Les résultats constituent un guide pour la définition des gammes de mise en forme en vue de l'obtention de propriétés optimales.

*Juhi Sharma a reçu le 1^{er} Prix Pierre Laffitte 2020 pour ses recherches.

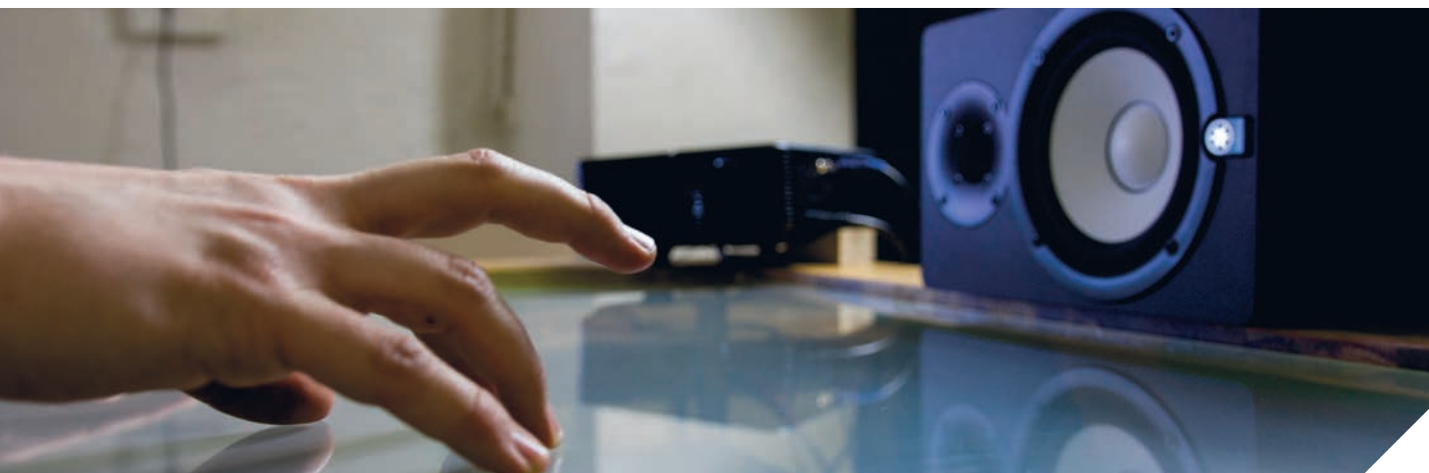


> Contact:
Nathalie Bozzolo

Microstructure de l'alliage VDM Alloy 780 à différentes échelles (observée par microscopie électronique à balayage).

MATHÉMATIQUES ET SYSTÈMES

Un département aux travaux très variés qui s'articulent autour du traitement de l'image, du contrôle, de l'optimisation, des langages pour les technologies de l'information et de la bio-informatique.



6 CENTRES DE RECHERCHE

■ CENTRE AUTOMATIQUE ET SYSTÈMES (CAS MINES ParisTech)

Le Centre automatique et systèmes s'intéresse au contrôle de systèmes de toutes natures (systèmes mécaniques, chimiques, électrotechniques, aéronautiques, mécatroniques, automobiles, pétroliers, énergétiques...). Sa spécialité est la conception d'algorithmes de contrôle et de filtrage qui garantissent un comportement dynamique spécifié à l'avance. Les méthodes mises en œuvre se rattachent aux sciences physiques et mathématiques (théorie du contrôle, stabilisation, identification et modélisation, systèmes dynamiques, optimisation...).

■ CENTRE DE ROBOTIQUE (CAOR MINES ParisTech)

Le Centre de robotique étudie et développe un ensemble de techniques cohérentes (perception, automatique, interfaces, apprentissage, logistique...) permettant d'améliorer les systèmes existants. La recherche a une forte composante expérimentale et plusieurs plateformes (robots, salle immersive, véhicules...) permettent de valider nos algorithmes et de les transférer à des partenaires industriels avec une orientation automobile marquée.

■ CENTRE DE BIO-INFORMATIQUE (CBIO MINES ParisTech)

Le Centre de bio-informatique développe des méthodes mathématiques et des algorithmes pour analyser et modéliser des données biologiques et

chimiques, en s'appuyant notamment sur une forte expertise en apprentissage statistique. Le CBIO collabore de manière très étroite avec l'Institut Curie et l'Inserm sur la recherche contre le cancer et sur la médecine personnalisée.

■ CENTRE DE MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES (CMA MINES ParisTech)

Le Centre de mathématiques appliquées déploie ses compétences en mathématiques du contrôle, de l'optimisation et de la décision, déclinées sur les grands enjeux sociétaux : climat, énergie, environnement...

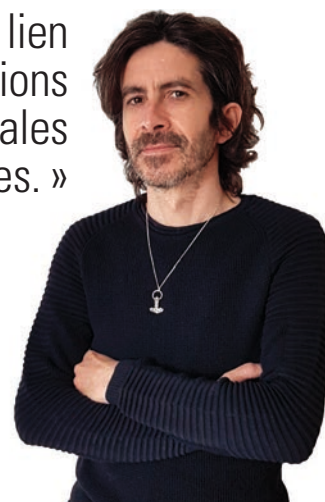
■ CENTRE DE MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE (CMM MINES ParisTech)

Depuis sa fondation en 1967, le Centre de morphologie mathématique contribue à la croissance et à la diffusion du corpus théorique et algorithmique de la morphologie mathématique en s'appuyant sur des domaines d'application très larges : structures et propriétés physiques des matériaux, imagerie médicale, contrôle industriel et analyse de scènes.

■ CENTRE DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE (CRI MINES ParisTech)

Les domaines étudiés au Centre de recherche en informatique sont les langages de programmation ou de description de données et les techniques d'analyse, de transformation et de validation associées répondant aux besoins industriels et sociétaux.

« Nos travaux ont un lien direct avec des préoccupations industrielles, expérimentales ou sociétales. »



Trois questions à

JESUS ANGULO

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

SPÉCIALITÉS DOCTORALES

- **Bio-informatique**
 - Responsable : Thomas Walter
- **Géostatistique**
 - Responsable : Jacques Rivoirard
- **Informatique temps réel, robotique et automatique**
 - Responsables : François Goulette et Pierre Jouvelot
- **Mathématique et automatique**
 - Responsable : Jean Lévine
- **Morphologie mathématique**
 - Responsable : Jesus Angulo Lopez
- **Contrôle, optimisation, prospective**
 - Responsable : Valérie Roy

FORMATIONS DE NIVEAU MASTER (DNM)

- **Mn_ Spécialité SAR Systèmes avancés en robotique (avec l'UPMC)**
 - Responsable : Brigitte d'Andréa-Novel
- **Mn_BMEBIM Bioingénierie (Biomedical Engineering) (interdépartements)**
 - Spécialité : Bio-Imagerie
 - Responsable : Petr Dokladal
- **Mn_MVA Mathématiques - Vision - Apprentissage (avec ENS Cachan)**
 - Responsable : François Goulette
- **Mi_MVE (inter-départements)**
 - Mobilité et véhicules électriques**
 - Responsable : Akin Kazaki
- **Man_IASD : Intelligence artificielle, systèmes, données (Master PSL)**
 - Responsable : François Goulette

FORMATIONS POST-MASTER MASTÈRES SPÉCIALISÉS

- **MS IRVE (inter-départements)**
 - Manager de projets en infrastructure de recharges et véhicules électriques**
 - Responsable : Akin Kazaki
- **MS MISL**
 - Management industriel et systèmes logistiques**
 - Responsable : Arthur Gaudron
- **MS OSE**
 - Optimisation des systèmes énergétiques**
 - Responsable : Gilles Guerassimoff
- **MS AIMOVE**
 - Artificial Intelligence and Movement**
 - Responsable : Sotiris Manitsaris

FORMATION CONTINUE

- **Executive MS MSIT, avec HEC Paris**
 - Management stratégique de l'information et des technologies**
 - Responsable : Fabien Coelho
- **Executive BADGE PTD, avec Dauphine - PSL**
 - Pilotage de la transformation digitale**
 - Responsable : Fabien Coelho
- **Executive BADGE PSI, avec HEC Paris**
 - Pilotage du système d'information**
 - Responsable : Fabien Coelho

CHAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

- **Chaire Modélisation prospective au service du développement durable**
 - Responsable : Nadia Maïzi
- **Chaire Logistique urbaine**
 - Responsable : Arnaud de La Fortelle
- **Chaire Internationale « Drive for All »**
 - Responsable : Arnaud de La Fortelle

QUELLES SONT LES SPÉCIFICITÉS DU DÉPARTEMENT ?

JESUS ANGULO : Ce département est structuré en six équipes. Les thèmes abordés sont centrés sur l'apport des mathématiques appliquées et des sciences des données à la modélisation, à l'analyse, à la conception et au contrôle des systèmes complexes et intelligents. Nos travaux se singularisent par leurs liens avec des préoccupations industrielles, expérimentales ou sociétales, qui nous permettent, en retour, d'orienter nos recherches amont vers des thématiques abstraites auxquelles nous n'aurions pas nécessairement pensé sans cette mise en perspective. Les connaissances théoriques que nous élaborons et publions, ainsi que l'expertise que nous développons sous la forme de plateformes expérimentales et de logiciels, enrichissent les enseignements que nous assurons à MINES ParisTech et à PSL.

L'équipe du CBIO travaille sur des méthodes d'apprentissage statistique et d'intelligence artificielle (IA) pour la biologie systémique du cancer, avec l'Institut Curie et l'Inserm ; celle du CMA, sur des modèles de décision et prospective à long terme, autour des enjeux liés au climat ; celle du CAOR, sur les technologies robotiques, appliquées, notamment, aux systèmes de transport intelligents et au véhicule autonome ; celle du CMM, sur la théorie pour le traitement des images multimodales et ses applications en vision industrielle ; celle du CAS, sur la théorie du contrôle et ses multiples applications ; celle du CRI, sur les langages utilisés par les technologies de l'information et l'optimisation et la transformation automatique de code.

QUELLES ONT ÉTÉ LES RÉALISATIONS ET/OU ÉVOLUTIONS EN 2020 ?

JESUS ANGULO : Citons d'abord l'ERC décrochée par Pierre Rouchon, professeur au CAS (cf. p.32). Le CBIO, pour sa part, a eu une année riche en publications. Le CMA confirme son orientation IA et data science pour le climat et la transition énergétique. La déclinaison des méthodes de Machine Learning et d'apprentissage se prolonge. Pour le CRI, mentionnons les travaux relatifs aux applications innovantes des nouvelles technologies dans le domaine de la musique et du son (communication par ultrasons, en collaboration avec la société Stimshop). Pour le CAOR, on notera le 1^{er} prix du "CARLA Autonomous Driving challenge", remporté pour la 2^e année consécutive par Marin Toromanoff, doctorant. Enfin, le CMM a déployé des techniques reliant morphologie mathématique et apprentissage profond (collaborations avec ArcelorMittal et Thales) et de nouvelles collaborations avec des PME innovantes, comme aiVision, et des acteurs publics, comme la RATP.

QUELS SONT LES PROJETS OU AMBITIONS DU DÉPARTEMENT POUR 2021 ?

J.A. : Renforcer la visibilité de nos recherches dans le domaine de l'apprentissage et l'IA, et mettre en avant notre capacité à travailler sur des données industrielles, souvent limitées ou partiellement annotées, en augmentant les interactions au sein de PSL. Le CAS continuera à développer la théorie du contrôle pour les équations aux dérivées partielles, les systèmes quantiques ouverts et les écoulements multiphasiques et multi-échelles et s'intéressera aux questions d'estimation d'état et d'identification pour les systèmes dynamiques non-linéaires. Le CAOR consolidera sa position de principal laboratoire français en IA/apprentissage-machine pour les véhicules autonomes, tout en amplifiant son positionnement sur la robotique collaborative intelligente pour l'industrie du futur et la prise de décision en logistique urbaine. Le CBIO continuera ses développements en IA pour la génomique, chémoinformatique et bioimaging. L'équipe se renforce pour approfondir la thématique de l'analyse de séquençage nouvelle génération. Le CMM développera la thématique apprentissage profond non-supervisé pour la détection d'anomalies et approfondira ses travaux en réseaux de neurones morphologiques. Le CRI va développer encore plus avant ses recherches liant analyse statique des langages de programmation et apprentissage automatique (IA) pour déterminer les meilleures configurations d'exécution des programmes à forte demande de calcul. Et le CMA lance un séminaire sur les « Scénarios d'une France « renouvelable » : de 0 à 100 % », contribution à l'intégration des énergies renouvelables dans les scénarios visant à décarboner le mix énergétique français d'ici la fin du siècle. Le CMA continue à préparer le 6^e rapport du GIEC.

PROJETS PHARE

UNE BOURSE ERC POUR PIERRE ROUCHON

LE PROJET « QUANTUM FEEDBACK ENGINEERING »

Et si les futures technologies quantiques révolutionnaient à la fois vitesse de calcul, sécurité des communications et précision des capteurs ? C'est peut-être pour bientôt grâce au projet « Quantum Feedback Engineering, Q-Feedback », porté par Pierre Rouchon, professeur au Centre automatique et systèmes MINES ParisTech, membre de l'équipe QUANTIC (Inria/ENS/MINES ParisTech), et qui lui vaut de décrocher une bourse de l'European Research Council (ERC Advanced Grant).

Contexte

Les futures technologies quantiques devraient pouvoir révolutionner la vitesse de calcul, la sécurité des communications et la précision des capteurs. Elles reposent sur deux ressources clés mais fragiles : cohérences et intrications quantiques. Ces technologies sont actuellement confrontées à la question centrale suivante : comment concevoir des machines qui exploitent massivement ces deux ressources tout en les protégeant très efficacement contre les bruits et perturbations externes (décohérence quantique) ?

Objectifs théoriques

Rendre un système classique résilient et robuste à l'influence de bruits et de perturbations est l'un des principaux problèmes déjà étudiés au Centre automatique et systèmes. Le but de cette bourse ERC est d'étendre, avec l'équipe QUANTIC, cette problématique aux systèmes quantiques. Plus précisément l'ambition scientifique est d'analyser et de concevoir des systèmes de rétroaction

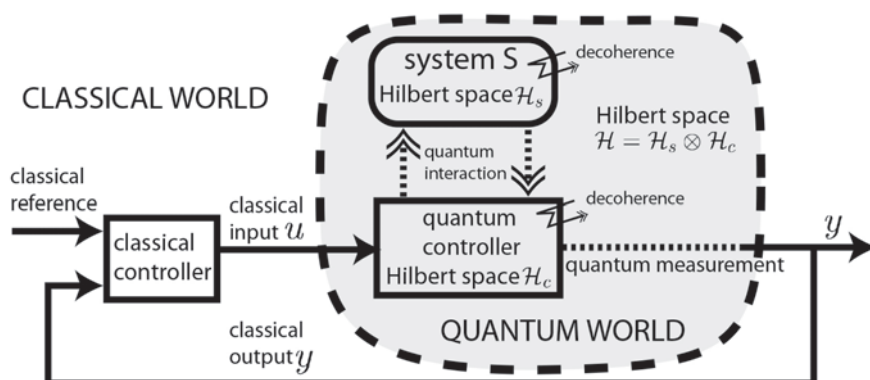
(feedback) pour protéger et stabiliser cohérences et intrications quantiques. Cette bourse va permettre de développer, d'une part, des méthodes mathématiques pour exploiter les aspects intrinsèquement stochastiques des mesures quantiques et, d'autre part, des techniques perturbatives originales et spécifiques aux systèmes quantiques ouverts. L'objectif est de proposer une nouvelle stratégie hiérarchisée, regroupant de façon structurée des échelles très différentes, pour la modélisation, la conception, l'analyse et la simulation sur des ordinateurs classiques de boucles de rétroaction adaptées aux systèmes quantiques ouverts (cf. figure ci-contre).

Objectifs expérimentaux

Le composant élémentaire d'une machine quantique est le bit quantique (qubit), un système qui peut adopter n'importe quelle superposition cohérente de deux états quantiques orthogonaux. Malgré des progrès majeurs, les qubits restent fragiles et perdent leurs propriétés quantiques avant qu'un ensemble de manipulations significatives puisse être accompli. Pour cette raison, un qubit doit être protégé contre les perturbations externes, tout en restant aisément manipulable. Aujourd'hui, il n'a pas encore été possible de construire un tel qubit. En collaboration avec les expérimentateurs de l'équipe QUANTIC sur les circuits Josephson supra-conducteurs, autour de Philippe Campagne-Ibarcq (chargé de recherches à Inria-Paris) et Zaki Leghtas (maître-assistant au CAS MINES ParisTech et titulaire de l'ERC Starting Grant ECLIPSE), l'ambition pratique est de concevoir, en s'appuyant sur les méthodes mathématiques et numériques précédentes, de tels qubits facilement intégrables dans une machine quantique.

Cette bourse ERC permet ainsi de développer la branche quantique de la théorie du contrôle et de l'automatique, branche nécessaire aux futures technologies quantiques.

> Contact :
Pierre Rouchon



Pour stabiliser l'information quantique localisée dans le système S, Q-feedback s'appuiera sur les diverses échelles de temps pour structurer le schéma de feedback : les décohérences rapides seront contrôlées par des contrôleurs quantiques alors que les décohérences lentes le seront par des contrôleurs classiques prenant en compte la rétro-action intrinsèque induite par la mesure quantique.

RECHERCHE EN INFORMATIQUE

LE RETOURNEMENT DU TEMPS POUR COMMUNIQUER EN MILIEU CONTRAINT

La musique permet de communiquer sentiments et émotions. Et si les sons inaudibles aux humains permettaient, eux aussi, de communiquer ? C'est à partir de cette hypothèse que la startup Stimshop a conçu le système Ucheck.in de communication numérique par ondes ultrasonores proches, c'est-à-dire de fréquences allant de 17 à 22 kHz et donc situées légèrement au-delà du spectre humain audible. Ce mode de transmission de données, très différent des ondes électromagnétiques qui nous entourent, que ce soit avec le Wifi, le Bluetooth ou même la téléphonie mobile, est particulièrement bien adapté aux environnements incompatibles avec les dispositifs électromagnétiques, i.e., ceux pour lesquels le risque d'explosion ou d'exposition de données particulièrement sensibles est un point clé.

La thèse Cifre d'Arthur Aubertin, menée en collaboration avec Julien de Rosny (Institut Langevin,

ESPCI Paris) avait pour but d'améliorer et d'étendre la technologie Ucheck.in, aussi bien en termes de débit que de domaines d'application. Fondée sur l'émission d'ondes acoustiques codées par modulation linéaire de fréquence (« chirps »), une extension de Ucheck.in a été proposée ; elle permet de focaliser les messages à transmettre à plusieurs récepteurs simultanément. La technique utilisée est celle du « retournement du temps », une élégante approche, conçue à l'Institut Langevin par Mathias Fink, qui permet à une antenne émetteur-récepteur (voir image), à partir de signaux de calibration connus a priori et échangés avec un dispositif émetteur-récepteur quelconque, de coder tout message, de façon telle que seul cet émetteur le reçoive. Par mixage, on peut également adresser simultanément plusieurs récepteurs.

Ce travail a permis de valider, par modélisation, simulation numérique et expérimentation, la technique de

retournement temporel sur une bande de fréquences très peu utilisée jusqu'ici, en l'occurrence les ultrasons proches. Il a également permis de montrer dans quels cas des appareils du commerce (smartphones Samsung et Honor Play) peuvent servir d'émetteurs-récepteurs dans un tel environnement, ce qui laisse bien augurer de la possibilité de diffusion à grande échelle de cette technologie de communication.

> **Contact :**
Pierre Jouvelot



Antenne émetteur-récepteur ultrasonore pour retournement du temps (A. Aubertin 2020).

MATHÉMATIQUE APPLIQUÉES
FORMATION EN FINANCE

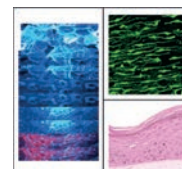
En juillet 2020, L'EDHEC Business School et MINES ParisTech-PSL ont signé un accord de partenariat pour la création d'une nouvelle formation en « *Climate Change & Sustainable Finance* ». Menée conjointement par le CMA et l'EDHEC-Risk Institute, cette formation d'un an sera accessible à la rentrée 2021 et se déroulera à la fois sur le site de Sophia Antipolis de MINES ParisTech et sur le campus niçois de l'EDHEC. À l'issue de cette formation, les étudiants obtiendront un MSc in Climate Change & Sustainable Finance de l'EDHEC

et un diplôme spécialisé en Finance et Changement climatique de MINES ParisTech.

> **Contact :**
Nadia Maïzi

MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE
12 ANS AVEC L'OREAL

En 2020, le CMM a fêté sa 12^e année de collaboration avec L'Oréal. Celle-ci a démarré suite à des travaux académiques sur la segmentation d'images 3D, qui ont attiré l'attention du leader mondial de la cosmétique. Un contrat-cadre a permis de lancer une série d'études sur la quantification d'images de la peau et sur sa modélisation. Ces travaux ont donné lieu à 24 publications et à 3 brevets. Et ils ont permis de financer 2 thèses, 2 post-doctorats, 5 stages de master et 1 poste d'ingénieur en informatique pour prendre en charge le transfert technologique. En effet, les résultats de la majorité des études ont été portés dans des logiciels aujourd'hui utilisés par les équipes de recherche de L'Oréal. Cette collaboration a aussi mené vers de nouveaux travaux purement académiques, avec le laboratoire d'optique et biosciences de l'École polytechnique (5 publications), illustrant l'aller-retour vertueux entre théorie et pratique. Depuis 2017, les défis posés par ces études ont motivé des travaux de recherche combinant morphologie mathématique et apprentissage profond. Il s'agit là d'un domaine prometteur, qui offre encore un énorme potentiel en matière de recherche et de débouchés industriels.

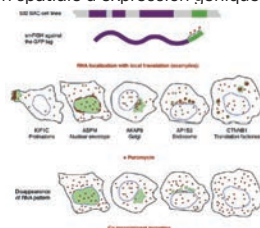


> **Contact :**
Étienne Decensière

BIO-INFORMATIQUE

RÉGULATION SPATIALE D'EXPRESSION GÉNÉRIQUE

Publication dans la prestigieuse revue scientifique américaine *Developmental Cell* de l'article « *A Dual Protein-mRNA Localization Screen Reveals Compartmentalized Translation and Widespread Co-translational RNA Targeting* », fruit d'un travail important sur la régulation spatiale d'expression génique.



Référence : R. Chouaib, A. Safieddine, X. Pichon, A. Imbert, O. Sung Kwon, A. Samacoits, A.-M. Traboulsi, M.-C. Robert, N. Tsanov, E. Coleno, I. Poser, C. Zimmer, A. Hyman, H. Le Hir, K. Zibara, M. Peter, F. Mueller, T. Walter, and E. Bertrand. A dual protein-mRNA localization screen reveals compartmentalized translation and widespread co-translational RNA targeting. *Developmental Cell* 54 (6), 773-791, 2020.

> **Contact :**
Thomas Walter

MEILLEUR ARTICLE EN AUTOMATIQUE

UN PRIX PRESTIGIEUX POUR LE CENTRE DE ROBOTIQUE

Les travaux de Silvère Bonnabel, professeur, et d'Axel Barrau, chercheur associé, ont été récompensés par le prix du meilleur article du journal de l'IFAC, *Automatica* pour les années 2017, 2018 et 2019 (*Automatica Paper Prize*).

Leur article, « *Symmetry reduction for dynamic pro-*

gramming », co-rédigé avec les chercheurs de l'UC Berkeley, Murat Arca et John Maidens, est distingué pour sa contribution exceptionnelle à la théorie et/ou à la pratique de l'ingénierie des systèmes de commande.

> **Contact :**
Silvère Bonnabel



Axel Barrau et Silvère Bonnabel.

ÉCONOMIE, MANAGEMENT ET SOCIÉTÉ

MINES ParisTech est l'une des premières écoles d'ingénieurs à avoir développé une activité de recherche et de formation en sciences économiques et sociales et en management. Des figures renommées telles que Maurice Allais, prix Nobel d'économie, ou encore Michel Callon et Madeleine Akrich, lauréats de la médaille d'argent du CNRS, sont issues du département Économie, management et société (EMS). Ses équipes sont reconnues au plan international pour leurs recherches en sociologie de l'innovation, sciences de la gestion et de la conception, sciences des risques et économie industrielle.



4 CENTRES DE RECHERCHE

■ CENTRE D'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE (CERNA MINES ParisTech)

Le CERNA est le laboratoire d'économie industrielle de MINES ParisTech. Fondé en 1978, ses activités portent sur les dynamiques industrielles et la propriété intellectuelle, l'énergie et le changement climatique, le développement durable, les politiques industrielles et la politique de l'innovation.

■ CENTRE DE GESTION SCIENTIFIQUE (CGS MINES ParisTech)

Le CGS est le laboratoire de recherche en gestion de MINES ParisTech. Fondé en 1967, il se caractérise par une double culture de la modélisation et de l'organisation. Ses travaux portent sur trois grands domaines : activités de conception et logistique ; transformation des métiers et santé au travail ; changements institutionnels et gouvernances des entreprises innovantes.

■ CENTRE DE RECHERCHE SUR LES RISQUES ET LES CRISES

(CRC MINES ParisTech)

Le CRC est le laboratoire de recherche sur les risques et les crises de MINES ParisTech. Fondé en 2008, il a pour mission de contribuer à la formalisation des savoirs dans le domaine de la prévention des risques. À vocation interdisciplinaire, le CRC rassemble des chercheurs venant du droit, de l'ergonomie, de la géographie, de la gestion, de la sociologie, de la psychologie et des sciences de l'ingénieur.

■ CENTRE DE SOCIOLOGIE DE L'INNOVATION (CSI MINES ParisTech)

Le CSI est le laboratoire de sociologie de MINES ParisTech, spécialisé dans l'analyse du développement et du rôle des sciences et techniques dans la société. Fondé en 1967, il est à l'origine de la sociologie de la traduction (ou *Actor Network Theory*). Ses recherches, au carrefour entre *Science and Technology Studies*, sociologie, économie et science politique, sont développées autour de trois grands ensembles de questions : l'expérimentation comme modalité de l'action collective, la place des marchés en société, les politiques des savoirs, la maintenance et la durabilité.

« L'une des particularités du Département : collaborer avec des parties prenantes très diverses. »



Deux questions à

JÉRÔME DENIS

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT ÉCONOMIE, MANAGEMENT ET SOCIÉTÉ (EMS)

SPÉCIALITÉS DOCTORALES

■ Économie

• Responsable : Pierre Fleckinger

■ Sciences de gestion

• Responsable : Franck Aggeri

■ Sciences, Techniques, Sociétés

• Responsable : Fabian Muniesa

■ Sciences et génie des activités à risques

• Responsable : Eric Rigaud

FORMATIONS DE NIVEAU MASTER (DNM) MASTERS NATIONAUX (MN)

■ Mn_GDO : Gestion et dynamique des organisations

• Responsable : Jean-Claude Sardas

■ Mn_MOPP : Management et organisations des politiques publiques

• Responsable : Frédéric Kletz

■ Mn_MODAL : Modèle, optimisation, décision, organisation

• Responsable : Michel Nakhla

■ Mn_MTI : Management de la technologie et de l'innovation

• Responsable : Sophie Hooge

FORMATIONS POST-MASTER MASTÈRES SPÉCIALISÉS

■ MS_MRI : Management des risques industriels

• Responsable : Wim Van Wassenhove

FORMATION CONTINUE

■ BADGE MA-HOS : Management hospitalier

• Responsable : Frédéric Kletz

■ BADGE RDE : Régulation de l'énergie

• Responsable : François Lévêque

CHAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

■ Chaire Théorie et méthodes de la conception innovante

• Responsables : Armand Hatchuel, Benoit Weil, Pascal Le Masson, Blanche Segrestin

■ Chaire Propriété intellectuelle et marchés de la technologie

• Responsable : Margaret Kyle

■ Chaire Économie des médias et des marques

• Responsable : Olivier Bomsel

■ Chaire Eau pour tous

• Responsable : Michel Nakhla

■ Chaire Futurs de l'industrie et du travail : formation, innovation, territoire (FIT²)

• Responsable : Thierry Weil

■ Chaire Économie industrielle de l'émergence de l'Afrique

• Responsable : Pierre-Noël Giraud

■ Chaire Mines urbaines

• Responsable : Franck Aggeri

■ Chaire Théorie de l'entreprise - Modèles de gouvernance et création collective

• Responsable : Blanche Segrestin

■ QUELLES ONT ÉTÉ LES PRINCIPALES RÉALISATIONS DU DÉPARTEMENT EN 2020 ?

Jérôme Denis : Comme partout ailleurs, l'année a été marquée par la nécessité de réorganiser une partie des activités, d'inventer des manières de travailler à distance et de cultiver des formes de lien inédites avec les élèves, avec nos partenaires et aussi en interne, en particulier avec les doctorantes et doctorants dont les conditions de vie sont devenues très difficiles. Mais la pandémie s'est également très vite imposée comme un objet de recherche à part entière, à la frontière de nombreux domaines d'expertise scientifique du département. Elle a donné lieu à plusieurs projets d'importance. Dès mars 2020, le CGS a été sollicité par l'APHP et MedTech-France pour aider à faire face à la pénurie de pousse-seringue électriques pour équiper de nouveaux lits de réanimation. Le centre a mis en place une équipe de 20 chercheurs et étudiants et élaboré un dispositif de « War Room » qui a permis de générer très rapidement des résultats opérationnels (identification des produits pertinents en Chine, nouvelles pratiques médicales de prise en charge...), mais aussi des contributions académiques avec la mise en évidence de formes inédites de rationalité dans l'inconnu, au-delà des circuits habituels du commandement et de la décision organisationnelle.

Le CSI a, quant à lui, participé à deux projets de recherches soutenus par l'ANR dans le cadre de l'appel « Recherche-Action Covid-19 » : Maskovid, consacré aux usages du masque sanitaire et aux controverses qui ont émergé à son sujet, et Expercrise, qui vise à identifier les enjeux politiques et sociaux de l'expertise dans la crise du Covid. Ce dernier projet s'inscrit dans le projet international « Comparative Covid Response (CompCoR) » (59 chercheurs dans 16 pays) lancé par des équipes des universités de Harvard, Cornell et Columbia, avec le soutien de Schmidt Futures et la NSF.

Bien sûr, l'activité du département a continué de se développer au-delà des problématiques propres à la crise sanitaire. Le CRC a notamment finalisé deux projets ANR : INCA, dans le cadre d'une coopération franco-allemande avec l'université de Carlsruhe, sur l'étude des vulnérabilités d'un espace transfrontalier face au risque de blackout électrique, et Fhoen avec le CEA, Airbus, EDF et ISF, sur la prise en compte du facteur humain dans la conduite des opérations de contrôle non destructif (CND) dans l'industrie.

Du côté de l'enseignement, le CERN a s'est trouvé en première ligne, en ouvrant 3 nouveaux cours dans le cadre de la réforme du cycle Ingénieur civil : « Problèmes économiques », « Micro-économie » et « Econometrics and Social Science Data Analysis ».

■ QUELS SONT LES PROJETS ET AMBITIONS DU DÉPARTEMENT POUR 2021 ?

J.D. : L'année sera marquée par de nombreuses nouveautés du côté de l'enseignement, avec l'ouverture de l'offre de trois Trimestres Recherche (« Technologies et société », « Économie appliquée » et « Logistique durable ») ainsi qu'un trimestre Proof of Concept « Industrie du futur ». La prochaine rentrée sera aussi l'occasion de démarrer le nouveau cours « Controverses », désormais destiné aux élèves de troisième année. En recherche, certains projets phares s'achèveront et feront l'objet d'une diffusion de résultats. Le CRC finalisera son programme de recherche sur l'accident nucléaire de Fukushima en publiant un dernier ouvrage rétrospectif dédié à la catastrophe. Il sortira, par ailleurs, au printemps, un ouvrage généraliste sur l'ingénierie face aux menaces de tout ordre, aux Presses Universitaires de France. Les résultats de l'enquête internationale consacrée aux modèles de publications scientifiques non commerciales (Open Access Diamond Journals) commanditée par COALition S et financée par Science Europe seront publiés. Portant sur 29000 journaux dans le monde (structure légale, modes de gouvernance, modèles de financement...), cette enquête a été menée par un consortium de recherche international dans lequel le CSI a joué un rôle important. L'année verra également de nouveaux projets ambitieux démarrer. C'est en particulier le cas du projet européen ERA-NET « Awaken Sleeping Assets Project », au sein duquel le CGS est leader. Enfin, 2021 verra le département engagé dans l'organisation de conférences centrales dans certaines de ses spécialités. Le CERN va co-organiser la première conférence à distance de l'International Association for Energy Economics, qui se tiendra en juin, une conférence qui réunit habituellement plus de 500 personnes.

PROJETS PHARE

LOI PACTE ET RENOUVELLEMENT DE LA CHAIRE

« THÉORIE DE L'ENTREPRISE. MODÈLES DE GOUVERNANCE ET CRÉATION COLLECTIVE »

En 2019, la loi Pacte a consacré les travaux de la chaire « Théorie de l'Entreprise. Modèles de gouvernance et création collective », en reprenant les principales propositions de réforme de l'entreprise et en introduisant en particulier la « société à mission » dans le code des sociétés.

L'entreprise : un lieu de création collective

Dans ses attendus, cette réforme a pris acte de la nouvelle théorie de l'entreprise développée dans la chaire. Au-delà d'être un acteur du marché ou une unité de production, l'entreprise est aussi un lieu de création collective, surtout depuis les grandes révolutions scientifiques et techniques. Or, l'entreprise a été gouvernée au cours du 20^e siècle par le droit des sociétés, dont les principes anciens, exacerbés par « l'industrialisation de l'actionnariat » récente, ont pu empêcher la dynamique de création collective là où elle était d'intérêt collectif, mais aussi favoriser des innovations irresponsables, sans égard aux dommages sociaux ou environnementaux. En introduisant les notions de « raison d'être » et de « mission », la loi française reconnaît que l'entreprise n'a pas seulement un but lucratif, mais peut définir les engagements, contrôlés par des tiers, qui lui semblent nécessaires pour un futur désirable.

Des répercussions en France et à l'international

En 2020, cette réforme a déjà eu de nombreuses répercussions. Toutes les entreprises ayant une participation de l'État sont appelées à se doter d'une raison d'être. Plus d'une centaine de sociétés à mission sont déjà créées, ainsi qu'une communauté des entreprises à mission, dotée d'un conseil scientifique et d'un observatoire en partenariat avec la recherche. Il s'agit d'un mouvement inédit dont l'objectif est de former, mais aussi d'étudier les effets du nouveau cadre juridique et d'expérimenter des instruments adaptés à la société à mission. L'enjeu est également de participer à la formation des entrepreneurs, dirigeants d'entreprises, des nouveaux « Chief Mission Officers », ainsi que des Organismes tiers indépendants prévus par la loi.

La réforme a eu de multiples échos à l'international. Elle a suscité des propositions similaires dans d'autres pays européens. Par ailleurs, le Parlement européen a demandé une directive de l'UE sur la « sustainable corporate governance ».

Le fort écho sociétal et académique de ces travaux a conduit au renouvellement du programme de la chaire en 2020. Le cercle des partenaires compte désormais Nutriset, Veolia, Préfon, Mirova, la Maif, BPI France, RTE et la FDJ.

Le second cycle approfondira les recherches sur l'entreprise sur 4 axes :

- Entreprise, création collective et civilisation
- Modèles et formes de l'actionnariat responsable
- Solidarité en régime de création collective : principes et gouvernance
- Entreprise à mission : modèles formels et nouvelles instrumentations

> **Contact :**
chaire-te@mines-paristech.fr



POUR LA SCIENCE OUVERTE

SOCIO-ÉCONOMIE DE LA PUBLICATION SCIENTIFIQUE (SEPS)

À l'heure de l'accès ouvert, les conditions dans lesquelles s'effectue la publication scientifique évoluent. Le projet de recherche SEPS porte sur la transformation des modèles économiques des revues scientifiques dans ce contexte. Il est financé par le Comité pour la science ouverte (Ministère français de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation) et soutenu par le CNRS. En 2020, ce projet s'est centré sur une des innovations contemporaines liées à l'économie de la publication scientifique : les accords dits « transformants », qui désignent une modalité des nouvelles relations entre consortiums de bibliothèques et éditeurs scientifiques développée à partir de 2015. Ce type d'accord a pour objectif affiché d'organiser la transition du modèle traditionnel de l'abonnement à des revues (souvent proposées par regroupements thématiques ou

collections) vers celui de l'accès ouvert en opérant une réaffectation des budgets qui y sont consacrés. Fondée sur le recensement, la lecture et l'analyse des accords transformants, l'enquête décrit une typologie des contrats signés, catégorise les mécanismes financiers élaborés et évalue leur pertinence pour une transition vers l'accès ouvert des publications scientifiques. Parmi les résultats importants, signalons le caractère expérimental de ces accords transformants, conçus comme des espaces de test pour de nouvelles formules contractuelles (dispositions financières variées, pluralité des formules d'accès ouvert associées à des formules classiques d'abonnement...). Cette première étude a donné lieu à la rédaction d'un rapport remis au Comité pour la science ouverte en décembre 2020, qui sera bientôt rendu public.

Contact :
Didier Torny



Réaffecter l'argent des abonnements vers la publication en accès ouvert (CCBY SLUB Dresden).

UN RAPPORT TRÈS ATTENDU

CROISSANCE ET GOUVERNANCE DES ETI D'ÎLE-DE-FRANCE

Les entreprises de taille intermédiaire, ETI, sont les invisibles du paysage industriel français. Moins médiatisées que les PME, les grands groupes ou les startups, leur catégorie a été créée il y a douze ans pour faciliter leur transmission jusqu'alors bloquée par l'ISF. Pourtant, ces entreprises de plus de 250 salariés sont parmi les plus dynamiques et les plus créatrices d'emploi ancré dans les territoires. En pleine épidémie de Covid, le CERNA a conduit, en partenariat avec la Région Île-de-France et son Club-ETI, une étude sur le poids économique des 1 800 ETI de la région. Rédigé par les 9 élèves de l'option Économie industrielle, le rapport exploite non seulement les données statistiques, mais aussi 60 entretiens menés en face-à-face avec des dirigeants d'entreprises. Il analyse les dynamiques de croissance des entreprises ainsi que l'originalité des formes de leur gouvernance, marquée par l'entrepreneuriat et la



Promo 2020-2021, option Économie industrielle.

maîtrise du risque. Très attendu par l'industrie, ce rapport insiste sur la nécessité de promouvoir les opportunités professionnelles (notamment pour les jeunes ingénieurs) de ces entreprises dont beaucoup sont leaders de marchés de niche. Il souligne la pertinence de relations durables entre

ces entreprises dynamiques, mais peu médiatisées, et une école de taille intermédiaire, mais à forte réputation, comme MINES ParisTech.

Contact :
Olivier Bomsel

PRIX HUMBOLDT 2020

ENRICO ZIO, LAURÉAT

Enrico Zio, Professeur au Centre de recherches sur les risques et les crises (CRC), est lauréat du prix Humboldt 2020. Ce prestigieux prix récompense les travaux du professeur Zio dans les domaines de l'analyse des risques, de la fiabilité et de la résilience. Ses recherches concernent principalement le domaine de l'énergie (nucléaire, pétrole, gaz et renouvelable). Enrico Zio est invité à coopérer,

pendant une période allant jusqu'à une année, à un projet de recherche de longue durée avec ses homologues spécialisés d'un institut de recherche en Allemagne, en l'occurrence l'université Leibniz de Hanovre et son institut « Risk and Reliability ».

Contact :
Enrico Zio



Enrico Zio

p.38
ENTRETIEN AVEC
FRÉDÉRIC FONTANE

p.40
CYCLE
INGÉNIEUR
CIVIL

p.42
MASTÈRES
SPÉCIALISÉS

p.43
FORMATION
CONTINUE

p.44
DOCTORAT

p.45
CORPS
DES MINES

ACCOMPAGNER L'INGÉNIEUR ET LE CHERCHEUR DU FUTUR



QUESTIONS À :
FRÉDÉRIC FONTANE
DIRECTEUR DE L'ENSEIGNEMENT

« Résilience et continuité pédagogique »

■ L'ANNÉE 2020 A ÉTÉ MARQUÉE PAR LA CRISE SANITAIRE LIÉE AU SARS-COV-2, COMMENT L'ENSEIGNEMENT A-T-IL ÉTÉ ADAPTÉ À CETTE SITUATION INÉDITE ?

FRÉDÉRIC FONTANE : Résilience et continuité pédagogique ont été les maîtres-mots pour faire face. Il est important de discerner deux périodes d'adaptation à cette crise sanitaire. La première coïncide avec le confinement de mars 2020, qui a contraint les enseignants-chercheurs de l'École à transformer leur enseignement dans l'urgence, afin d'assurer à distance les meilleures conditions d'apprentissage aux étudiants. Au-delà de la réactivité à recourir à une plateforme de visioconférence et à Campus (le système Moodle), il faut souligner la capacité d'innovation pédagogique de nos enseignants-chercheurs et les démarches originales mises en place pour assurer la continuité des cours. La deuxième période correspond à la rentrée de septembre 2020 avec un démarrage en présentiel, qui fut essentiel afin d'accueillir et d'intégrer les nouveaux étudiants à l'École et permettre de créer un esprit de promotion. Au regard des incertitudes liées à la situation sanitaire, l'École avait anticipé, en juin 2020, des choix techniques pour équiper les salles d'enseignement des différents sites afin de pouvoir assurer des enseignements en mode hybride. Ce dispositif nous a permis de faire face au confinement de fin octobre 2020 et d'assurer l'ensemble des enseignements et des examens : soit en présentiel (dans le cas de travaux pratiques) ; soit en distanciel ; soit un mixte des deux. L'ensemble de ces mesures a permis d'assurer une continuité pédagogique au sein de nos différents cycles de formation.

■ QUELS ONT ÉTÉ LES IMPACTS DE LA CRISE SANITAIRE SUR LA DIMENSION INTERNATIONALE DES FORMATIONS ?

F.F. : Le recrutement d'étudiants internationaux dans nos différentes filières de formation a été différemment impacté par cette crise sanitaire, selon les dates et les modalités de recrutement. Il y a eu aussi des différences entre le recrutement et l'accueil effectif de ces étudiants dans nos murs, du fait de facteurs externes (délais d'obtention des visas, ouverture de l'espace aérien, quarantaines imposées, etc.). Si les flux entrants d'étudiants internationaux sont restés stables au niveau des mobilités diplômantes et des doubles diplômes, il faut souligner qu'il y a eu une réduction, bien compréhensible, des flux physiques d'étudiants entrants en échange non-diplômant (Erasmus et autres).

Au niveau de la mobilité sortante de nos étudiants à l'international, qui concerne principalement le cycle Ingénieur civil, les élèves (45 au total) qui avaient fait le choix de partir en semestre 3 à l'étranger ont pu effectuer complètement cette expérience, entre les mois d'août 2019 et février 2020. Concernant les périodes de stage en entreprise à l'international, lorsque la crise sanitaire a éclaté, nous avons suivi de façon systématique la situation de chacun de nos élèves ingénieurs se trouvant à l'étranger. Nous avons à ce moment-là 125 étudiants en stage de césure (qui avaient commencé leur stage fin 2019), dont 67 sont rentrés en France et ont suivi leur stage à distance, 35 sont restés à l'étranger et 23 ont vu leur stage annulé avant la fin. Les étudiants en stage d'option (qui débute généralement en mars) ont plutôt cherché des stages en France. Pour certains étudiants, nous avons donc dû assouplir les exigences minimales concernant le temps passé à l'étranger, en accord avec les recommandations de la commission des titres d'ingénieurs (CTI).

Enfin, de nombreux établissements ont annulé les échanges ou offert uniquement l'option des cours à distance (sans la possibilité de rejoindre ni le pays, ni l'université de formation) pour les cursus en double diplôme. Cela n'a pas été très incitatif et nous avons eu seulement 4 étudiants en double diplôme à l'étranger (Italie, Royaume-Uni et États-Unis).

■ QUEL EST LE BILAN DU RECRUTEMENT 2020-2021 ?

F.F. : D'un point de vue global, le nombre d'élèves ingénieurs, d'étudiants inscrits en Master et Mastère spécialisé (MS) et de doctorants est de 1479, en légère baisse par rapport à 2019 (1527). Il convient de présenter une analyse différenciée selon les cycles de formation. Ainsi, en comparant 2020 à 2019, le taux de croissance est de 4 % sur le cycle Ingénieur civil, stable sur le cycle par apprentissage Isupfere et les Masters, et en baisse de 4 % sur le Doctorat (baisse des contrats Cifre) et de 20 % sur les MS (décalage de la rentrée en 2021 pour deux d'entre eux, pour cause de crise sanitaire et nouveau positionnement « prix-nombre de participants », d'un autre MS). Soulignons également l'impact de la crise sanitaire sur l'organisation du concours commun Mines-Ponts 2020. Ainsi, les écrits ont été décalés de mai à juillet avec le choix national de ne réaliser aucun oral. De fait, il n'y a eu aucune réaffectation des coefficients des oraux (changement du poids relatif sciences/techniques/humanités), et il y a eu plus d'élèves « classés » sans démissions entre écrits et oraux. Malgré cela, l'École est restée extrêmement sélective. Ainsi, si l'on regarde le rang du dernier admis par filière grandes écoles, il s'établit au 114^e rang pour la filière PSI pour 3726 candidats, au 142^e rang pour la filière PC pour 3502 candidats et au 295^e rang pour la filière MP pour 5942 candidats.

FOCUS



L'une des 50 salles de cours équipées pour permettre tous types d'enseignements, selon l'évolution des règles sanitaires.

UNE SOLUTION ORIGINALE POUR LES COURS HYBRIDES

Afin de permettre de réaliser des cours hybrides lors de la crise sanitaire, le service audiovisuel et la direction des systèmes d'informations ont développé un dispositif informatique original pour les enseignements hybrides dans les salles de cours des différents sites de l'École.

Chaque salle a été équipée d'un « caisson » composé d'un ordinateur fixe avec licence Zoom, d'une pieuvre pour le son et d'une caméra télécommandée. 50 salles ont été ainsi équipées sur les sites de Paris, Sophia et Fontainebleau.

Ce système est complété d'une interface web qui permet à un(e) étudiant(e) ou à un(e) enseignant(e) de consulter son planning et la salle de cours affectée et de s'y rendre, réellement ou virtuellement, en deux clics.

Ainsi ce dispositif a permis, et permet, de faire différents formats d'enseignement compatibles avec les règles sanitaires : des cours totalement en distanciel, des cours hybrides (professeur(e), ½ effectif en présentiel, ½ effectif en distanciel), des cours où le ou la professeur(e) est seul(e) en présentiel et les étudiants à distance. Tout cela en gardant une planification robuste des enseignements.

ILS EN PARLENT ...



« Les ingénieurs ont rendu possible l'anthropocène. Ils ont maintenant le devoir de participer à le rendre responsable et soutenable. Mais comment y parvenir ? ».

Ingénieurs et transitions environnementales est un livre collectif, co-rédigé par des conférenciers (membres de la société civile et chercheurs) et par des élèves ingénieur.e.s de MINES ParisTech. Il est issu d'un séminaire éponyme, imaginé et construit par des étudiants de 2^e année.

Publié aux Presses des Mines.

Le trimestre recherche

Élément essentiel de la nouvelle maquette, ce trimestre permet à tous les élèves de réaliser un projet de 2 mois au sein d'un laboratoire, sur une thématique donnée. En s'appuyant sur les centres de recherche de l'École et de ses partenaires, plus de 150 projets ont ainsi été réalisés cette année. Ce module comprend également une semaine de cours scientifique, une formation aux outils bibliographique et la participation à des séminaires de recherche. Les 18 thématiques suivantes ont été proposées en 2020, réparties en 5 grands domaines.

Santé

L'ingénieur et la recherche en santé

Energie et environnement

Efficacité énergétique des systèmes - Transition énergétique - Sciences prédictives pour le génie des procédés - Sous-sol et transition énergétique - Milieux naturels

Mathématiques et Sciences digitales

Data Sophia - Théorie du contrôle - Analyse des langages - Données, images, modèle physique et apprentissage

Sciences de gestion, économiques et sociales

Economie appliquée - Logistique durable - Science de la conception - Science, techniques, société

Sciences de la matière

Atome, lumière, matière - Particules, noyaux, univers - Design de matériaux pour les nouveaux défis - Fluides

CYCLE INGÉNIEUR CIVIL

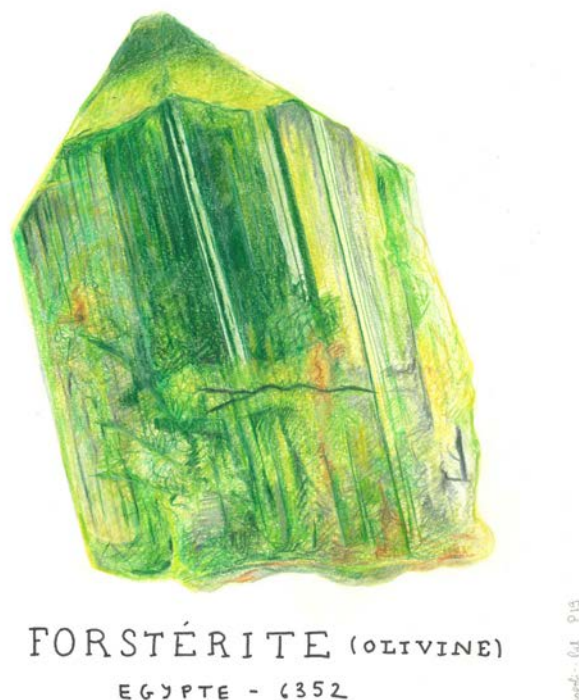
Le cycle Ingénieur civil (IC) recrute des élèves dans les classes préparatoires, dans les universités françaises et étrangères et dans les grandes écoles d'ingénieur et de commerce sous forme de doubles diplômes (École polytechnique, Écoles normales supérieures, ESPCI Paris, Agro ParisTech, HEC, ESCP Europe) pour leur offrir une formation d'ingénieur où chaque élève trouve sa place.

SCIENCES ET ARTS : UN MODULE POUR NOURRIR LA CRÉATIVITÉ

L'ouverture du cursus Ingénieur civil vers le monde artistique est présente depuis de nombreuses années dans la maquette (semaines de cours autour de la musique ou de la couleur, par exemple), mais historiquement plutôt sous forme de cours électifs ou facultatifs. L'année 2020 a vu l'apparition dans le tronc commun de première année d'un module d'expression orale organisé par des professeurs de théâtre.

Elle consacre également l'instauration d'un module intitulé Arts et sciences - qui a pu se tenir à distance, malgré le confinement. Ce module se compose de conférences sur les thèmes de la musique, des arts graphiques, de l'art urbain (ou *Street Art*) et d'une

journée de TP, permettant aux élèves de découvrir de manière pratique comment les arts et les sciences peuvent être entremêlés. Un groupe d'élèves a ainsi visité (virtuellement) l'Ircam et découvert comment l'intelligence artificielle était utilisée, depuis quelques années déjà, dans la recherche musicale. Un second groupe a travaillé en partenariat avec le Musée de minéralogie de l'École, sur le thème de la « figuration minérale ». Enfin, un troisième groupe a pu découvrir le monde du *Street Art* et les applications numériques pouvant y être associées, avec l'exemple de flashInvader (l'appli du grapheur et mosaïste Invader) et des méthodes avancées pour la reconnaissance d'image.



Dessin réalisé au Musée de minéralogie pendant le cours « figuration minérale ». Invités à dessiner le minéral de leur choix, les élèves ont pu bénéficier des conseils du peintre et illustrateur Olivier Charpentier.

NOUVELLE MAQUETTE, AN II : LANCEMENT DE LA NOUVELLE 2A

La rentrée de septembre 2020 a vu l'application de la nouvelle formule pour la deuxième année du cycle Ingénieur civil.

La deuxième année permet aux élèves de se confronter au monde de la recherche (grâce aux trimestres du même nom) et au travail en équipe et en mode projet, via la réalisation de deux projets d'ingénierie.

Ces derniers ont donné lieu, à l'automne 2020, à de belles réussites, malgré le contexte sanitaire perturbé. Les élèves ont, par exemple, pu utiliser les outils de la réalité virtuelle pour développer des applications sur la thématique du musée virtuel.

Les autres projets proposés durant l'année s'intéressent à la réalisation de systèmes intelligents et connectés (mêlant mécanique, électronique et informatique), au développement d'applications web ou mobile, à la conception de systèmes mécaniques optimisés pour l'aéronautique (fabrication de drones), ou encore, à la réalisation d'un système de suivi et de mesure de la ressource en eau.

Travail en équipe et en autonomie, utilisation de logiciels et de techniques de fabrications avancées, gestion des objectifs dans un temps limité et présentation finale devant un panel d'expert : ces projets permettent aux élèves de se confronter aux défis du métier d'ingénieur, tout en travaillant dans un cadre motivant et innovant.



Développer des appli pour le musée virtuel.

+ de 50 %

des élèves impliqué.e.s dans des actions d'égalité des chances

28 %

de femmes parmi les diplômé.e.s en 2020

50 %

prenant un 1^{er} poste en PME/TPE

INGÉNIEUR DE SPÉCIALITÉ

INGÉNIEUR ISUPFERE

Dans le contexte difficile de la crise sanitaire, la formation ISUPFERE s'est adaptée pour maintenir l'ensemble des enseignements. 15 nouveaux apprentis ont intégré le cycle Ingénieur en énergétique, en septembre, et 11 stagiaires ont été accueillis en formation continue.

> en savoir + <http://www.isupfere.mines-paristech.fr/>

La loi pour la Liberté de choisir son avenir professionnel a fortement modifié le cadre relatif à l'apprentissage. L'École a montré sa volonté de poursuivre son action en faveur de cette forme d'enseignement, levier de l'ouverture social, concrétisée, fin 2020, par la signature d'un nouveau partenariat avec le CFA EVE (Centre de formation universitaire en apprentissage d'Évry).



Rentrée de la 1^{re} année dans le cycle Ingénieur en apprentissage.

MASTERS

Depuis la rentrée 2019, l'offre de formation Masters MINES ParisTech s'inscrit dans le cadre de l'Université PSL. Les Masters PSL sont des formations sélectives adossées à la recherche des composantes de l'Université PSL. MINES ParisTech contribue à 8 mentions de Masters PSL et assure le rôle d'opérateur pour l'une d'entre elle, la mention Énergie, ce qui signifie qu'en plus de d'intervenir de manière importante dans la formation, MINES ParisTech gère administrativement la formation et les étudiants.

ÉTABLISSEMENT OPÉRATEUR (GESTION ADMIN.)	MENTION
MINES ParisTech	Énergie
Chimie ParisTech	Sciences et génie des matériaux
Dauphine	Management de l'innovation
ESPCI	Ingénierie de la santé
Dauphine	Informatique
ENS	Sciences de la terre et des planètes, environnement
Dauphine	Sciences économiques et sociales (IOES)
Dauphine	Économie et gestion de la santé

En 2020, 32 étudiants ont reçu le diplôme de Master PSL, mention Énergie.

MINES ParisTech est aussi responsable du Programme gradué Ingénierie, sciences appliquées, innovation (PG ISAI). Le PG ISAI comprend 5 masters et 4 diplômes d'ingénieurs. Il propose un cycle complet d'études supérieures et de recherche du master au doctorat plaçant l'étudiant, pour lequel un projet personnalisé est élaboré avec les enseignants-chercheurs, au plus près de la recherche.

MASTÈRES SPÉCIALISÉS

DES FORMATIONS POST-MASTER DIPLOMANTES

Permettant d'acquérir une spécialisation ou une double compétence immédiatement opérationnelle en entreprise, les Mastères spécialisés (MS) de MINES ParisTech sont tous conçus par les enseignants-chercheurs de l'École et portés par l'un de ses 18 centres de recherche.

> en savoir [ⓧ http://www.mines-paristech.fr/Formation/Masteres-Specialises/Presentation/](http://www.mines-paristech.fr/Formation/Masteres-Specialises/Presentation/)

MISE EN PLACE DE L'APPRENTISSAGE POUR TROIS MS

L'intégration de la modalité d'alternance dans le programme théorique d'un MS a nécessité une réflexion sur ce qui constitue le cœur de la formation afin de garantir l'enseignement complet à tous les élèves - alternants ou à temps plein. Cela fait six années que nous accueillons des alternants, en conventionnement sous contrat de professionnalisation.

En 2020, c'est en contrat d'apprentissage que les alternants ont pu suivre l'un des MS suivants.

- MRI : Maîtrise des risques industriels
- IGE : Ingénierie et gestion de l'environnement
- GAZ : Ingénierie et gestion du gaz.

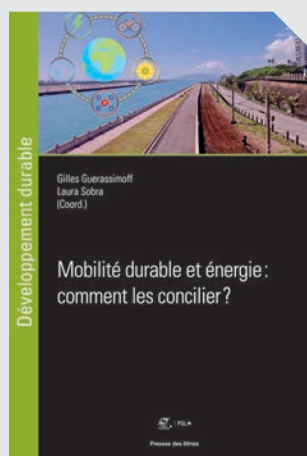
Malgré la crise sanitaire que nous traversons, chacun de nos apprentis a pu trouver une

entreprise d'accueil. Le contrat d'apprentissage a d'ailleurs remporté plus de succès que le contrat de professionnalisation. Sur 46 alternants, 39 sont en apprentissage et 7 en contrat de professionnalisation.

- MRI : 11 apprentis et 3 alternants sous contrat de professionnalisation
- IGE : 23 apprentis et 4 alternants sous contrat de professionnalisation
- GAZ : 5 apprentis

Les étudiants en alternance sont malgré tout en légère régression dans les Mastères spécialisés (46 en 2020 / 54 en 2019), mais nous constatons un fort accroissement des offres des entreprises et industriels. Résultat : nous avons toujours plus d'offres que d'étudiants.

ILS EN PARLENT ...



Un ouvrage collectif des élèves du MS OSE.

SOUS LA DIRECTION DE GILLES GUERASSIMOFF ET LAURA SOBRA

Premier émetteur de gaz à effet de serre, premier poste de dépense des ménages en France, le secteur du transport doit être repensé pour mieux faire face aux problématiques environnementales.

Dans cet ouvrage collectif des élèves du Mastère spécialisé OSE publié aux Presses des mines, les vecteurs énergétiques les plus avancés pour envisager la mobilité des biens et des personnes la plus décarbonée possible sont comparés. Électricité, biogaz, biocarburants, hydrogène... sont autant de vecteurs pouvant participer à la réduction de l'impact environnemental.



Étudiants du MS IGE pendant les journées d'intégration 2020.

FORMATION CONTINUE

MINES ParisTech propose à des professionnels de tous âges, de tous niveaux universitaires et de toutes expériences une large gamme de formations diplômantes ou qualifiantes. L'année 2020 a été marquée par le lancement des activités d'Executive Education, dans le cadre de la filiale MINES PSL EXED créée par l'École à l'été 2019, en application du Plan stratégique adopté en 2017.

EXECUTIVE MS

Les Mastères spécialisés (MS), créés par la Conférence des grandes écoles, permettent d'acquérir une spécialisation. MINES ParisTech propose une quinzaine de cycles diplômants, ouverts en totalité ou par modules, à la formation continue. Certains - les Executive MS - ont un planning plus adapté à la formation continue.

FORMATION CONTINUE QUALIFIANTE

Des programmes courts, en immersion dans les enseignements de MINES ParisTech, s'adressent aux salariés, pour répondre à leurs besoins de formation dans les domaines suivants :

- ressources naturelles ;
- environnement & développement durable ;
- énergétique & procédés ;
- mécanique & matériaux ;
- informatique & systèmes d'information.

MINES ParisTech offre la possibilité de se perfectionner au sein de ses centres de recherche et propose aux cadres des entreprises et des services publics des stages de formation aux technologies de pointe, dans de nombreux domaines.

<https://www.minesparis.psl.eu/Formation/Formation-continue/>

UNE NOUVELLE OFFRE DE FORMATIONS EXECUTIVE EDUCATION

Afin de permettre aux dirigeants, décideurs et ingénieurs de relever les défis de la transition numérique et énergétique, sociétaux ainsi que ceux soulevés par l'évolution des modèles organisationnels et managériaux, une large gamme de formations a été développée sur l'année 2020, structurée autour de MasterClass, formations courtes et certifiantes dans les domaines suivants : gouvernance, management & leadership, digital & innovation, IT & data, risques, crises & cyberintelligence, sciences de la terre et de l'environnement et mécanique & matériaux.

En dépit de la crise sanitaire, de premières actions ont pu être engagées à partir de l'été 2020 - en distanciel - en particulier l'organisation de deux sessions de la MasterClass sur « L'entreprise à mission : définir un nouveau cadre pour l'entreprise post-crise », animée par l'équipe d'enseignants-chercheurs du CGS MINES ParisTech (Blanche Segrestin, Armand Hatchuel, Kevin Levillain).



Le site <https://exed.mines-paristech.fr/> : véritable vitrine de l'offre de formation continue de MINES PSL EXED.

BADGE

Les Badges (Bilans d'aptitude délivrés par les grandes écoles) certifient les compétences acquises. Actuellement, deux Badges sont proposés par MINES ParisTech : Régulation de l'énergie et Management hospitalier.

L'ICHEIE

L'Institut des hautes études pour l'innovation et l'entrepreneuriat (ICHEIE) anticipe les futurs avec les projets Zenon Research et Red Team

> en savoir + icheie.fr/

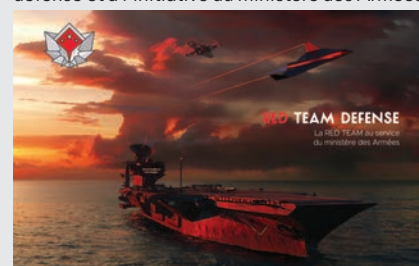
Anticiper le futur est essentiel pour les innovateurs et les entrepreneurs. Si l'observation attentive des signaux existants permet d'entrevoir les tendances à court et moyen termes, l'exercice se complexifie à mesure que l'horizon temporel considéré s'éloigne.

L'étude des données environnementales, technologiques et économiques peut néanmoins permettre de confronter les futurs possibles aux limites dures qui les contraignent irrémédiablement. C'est à ce travail que s'attelle l'ICHEIE, au sein d'un programme de recherche commun avec le *think tank* Zenon Research, lancé à la rentrée 2020. Proposant une vision réaliste et étayée du futur à très long terme, sans pessimisme catastrophiste ni « tech-

optimisme » débridé, il cherche à encourager la réflexion sur les futurs possibles et ce qu'ils impliquent dès à présent.

Ce travail d'anthropologie prospective se poursuit également dans le cadre de la Red Team. Science et science-fiction se nourrissent, se fascinent et s'étudient l'une l'autre. Depuis Léonard de Vinci, Jules Verne, Georges Orwell, Isaac Asimov et, aujourd'hui, Alain Damasio et bien d'autres, la science-fiction offre des représentations dystopiques, voire caricaturales, qui sont d'excellentes sources d'inspiration pour la recherche. C'est avec cette vision que l'ICHEIE porte avec PSL le projet Red Team. Composée de scénaristes, auteurs et

dessinateurs de science-fiction, la Red Team est réunie pour concevoir et restituer des scénarii d'adversité et de menaces à l'horizon 2030 - 2060, dans les domaines opérationnel, technologique ou organisationnel, au profit de l'innovation de défense et à l'initiative du ministère des Armées.



DOCTORAT

MINES ParisTech dispense une formation alliant Science et Entreprise. Pendant trois années de recherche, le doctorat préparé à MINES ParisTech, en partenariat avec les entreprises, constitue une véritable expérience professionnelle et permet au doctorant, non seulement d'acquérir des compétences scientifiques dans des domaines multidisciplinaires, mais aussi de développer sa connaissance du monde socio-économique.

> en savoir <http://www.mines-paristech.fr/Formation/Doctorat/Accueil/>

ILS EN PARLENT ...



QUAND UN CHERCHEUR SE FAIT AUTEUR

Romain Besseau, post doctorant au centre O.I.E MINES ParisTech, s'est livré à un exercice de vulgarisation scientifique pour transformer sa thèse en un livre destiné à alimenter le débat sur la transition énergétique.

Sa thèse, intitulée « Analyse de cycle de vie de scénarios énergétiques intégrant la contrainte d'adéquation temporelle production-consommation », a été soutenue en 2019.

Il a fallu ensuite une année pour publier l'ouvrage, *Quelle empreinte environnementale pour notre avenir énergétique ? L'ACV : une méthode d'évaluation systémique et multicritère*, avec le support des Presses des Mines.

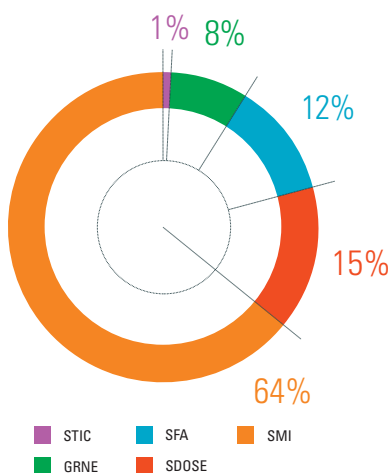
Ce livre s'adresse à tous ceux qui souhaitent aller au-delà de la binarité entre « énergies propres » et « énergies sales » et vise à alimenter le débat sur la transition énergétique.

Les centres de recherche de MINES ParisTech sont rattachés à 5 Écoles doctorales accréditées par l'université PSL.

- Géosciences, ressources naturelles et environnement (GRNE n° 398)
- Ingénierie des systèmes, matériaux, mécanique, énergétique (ISMME n° 621)
- Sciences fondamentales et appliquées (SFA n° 364)
- Sciences et technologie de l'information et de la communication (STIC n° 84)
- Sciences de la décision, des organisations, de la société et de l'échange (SDOSE n°543)

DOCTEURS : PROMOTION 2020

89 nouveaux docteurs ont reçu un diplôme de l'Université PSL, préparé à MINES ParisTech. Parmi ces diplômés, 30% sont des femmes, et 36% sont de nationalité étrangère.



Répartition des étudiants dans les écoles doctorales.

DES INSCRIPTIONS DÉMATÉRIALISÉES

En accord avec les pratiques du collège doctoral PSL et en lien avec les écoles doctorales, la procédure d'inscription et de réinscription est désormais dématérialisée, ce qui facilite la circulation et la validation des documents et réduit l'empreinte carbone (plus de sortie papier) de cette procédure.

16 spécialités doctorales.

- Bio-informatique
- Contrôle, optimisation, prospective
- Économie
- Énergétique et procédés
- Informatique temps réel, robotique, automatique
- Géosciences et géo-ingénierie
- Géostatistique et probabilités appliquées
- Mathématique et automatique
- Mathématiques numériques, calcul intensif et données
- Mécanique
- Mécanique numérique et matériaux
- Morphologie mathématique
- Sciences de gestion
- Sciences et génie des activités à risques
- Sciences et génie des matériaux
- Sciences, technologies, sociétés

INSERTION PROFESSIONNELLE DES DOCTEURS 2018

L'enquête IpDoc (Insertion professionnelle des docteurs) est coordonnée par le ministère de l'Enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation (MESRI). Elle concerne les diplômés 2018, 1 an après la soutenance.

- Le taux de participation des docteurs de MINES ParisTech est de 70,5%
- Au 1^{er} décembre 2019, 91,4% des répondants sont en emploi et 4,3% ont une promesse d'embauche
- 18 % travaillent dans la fonction publique, 55,7 % en entreprise privée et 65 % sont en CDI.

DES MESURES INÉDITES

La crise sanitaire avec le confinement au 2^e trimestre 2020 et les contraintes liées au 2^e confinement et au couvre-feu à l'automne ont considérablement impacté l'activité des doctorants. Ces conditions de travail inédites ont nécessité des aménagements tels que la mise en place du télétravail, des prolongations de thèse et de leur financement (en lien avec le MESRI) ainsi que la possibilité de soutenir entièrement en visioconférence (modification des règles de soutenance dans l'arrêté du 27 octobre 2020).

CORPS DES MINES

La formation du Corps des mines a pour vocation de mettre à la disposition de l'État des ingénieurs formés à la conception et à la mise en œuvre des politiques publiques, dans les domaines de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies. Le cursus, organisé par MINES ParisTech et Télécom Paris, est centré sur la connaissance des entreprises et leur lien avec l'État.

DEUX ANNÉES DÉDIÉES AUX EXPÉRIENCES DE TERRAIN

Cette formation offre deux expériences en entreprise de près d'un an chacune. Objectif : comprendre, en la vivant, la réalité de l'entreprise. Une 1^{re} expérience de 10 mois se tient le plus souvent en France, de préférence dans des activités opérationnelles. Akuo Energy, Neoen, Total, Orange, EDF, SNCF, le grand port maritime de Marseille... : grands groupes, ETI et PME de tous secteurs ont accueilli les élèves en 2020.

La 2^e période a lieu à l'étranger, souvent dans des fonctions de stratégie, ventes et marketing, finances ou recherche. Elle permet l'immersion dans une autre culture. Les expériences dans les pays lointains sont encouragées (en 2020, Chili, États-Unis, Singapour, Inde, Maroc, Suède, Allemagne...). Malgré la crise sanitaire, les élèves ont pu conduire leur mission à terme, souvent en partie en télétravail.

UNE FORMATION SUR MESURE NOURRIE DE SCIENCES ET TECHNIQUES

Les ingénieurs sont recrutés sur la base de leur excellence académique. Mais ce socle scientifique solide doit être complété en faisant le lien entre les disciplines abstraites qu'ils maîtrisent et leur application concrète. Au cours des deux premières années, 12 semaines sont consacrées à des enseignements techniques : ressources des sous-sols, géosciences, ingénierie

digitale, internet des objets et transition énergétique étaient proposés en 2020.

L'excellence scientifique du parcours a été renforcée par le démarrage, en septembre 2020, de 3 doctorats et de 5 masters de recherche, en parallèle de la formation du corps. Un aménagement de la scolarité a été permis à ces élèves.

UNE TROISIÈME ANNÉE D'OUVERTURE

La 3^e année est consacrée à l'acquisition des compétences de gestion et de compréhension du monde économique et de l'administration, ainsi que du développement personnel, nécessaires à l'exercice des premières responsabilités. Après l'avis favorable de la Conférence des grandes écoles, cette année d'enseignement est devenue diplômante, avec la délivrance, pour la première fois cette année, du « Mastère Business et Administration publique ». En 2020, le programme de formation a évolué avec, notamment, la refonte des enseignements qui portent sur la transition écologique.

Un voyage d'études en Israël, sur l'intelligence artificielle, a donné lieu à une restitution qui a attiré près de 80 personnes (en visioconférence). Par ailleurs, les élèves ont, pour la première fois, réalisé un « vis ma vie » avec un maire d'une commune rurale pendant une semaine dans le Loiret.

DE GRANDS TÉMOINS

La 3^e année est enfin marquée par l'intervention de personnalités de premier plan, invitées par les élèves. En 2020, des responsables d'administration, comme Thomas Courbe (directeur général des entreprises), Sébastien Soriano (président de l'Arcep), Odile Renaud-Basso (directrice générale

du Trésor), Bernard Doroszczuk (président de l'ASN), Nicolas Dufourcq (DG Bpifrance) ou Martin Vial (directeur de l'APE), sont intervenus, de même que des responsables politiques, comme Arnaud Montebourg (ancien ministre de l'économie) ou des chefs d'entreprise, comme Xavier Niel (Free).

ILS EN PARLENT ...

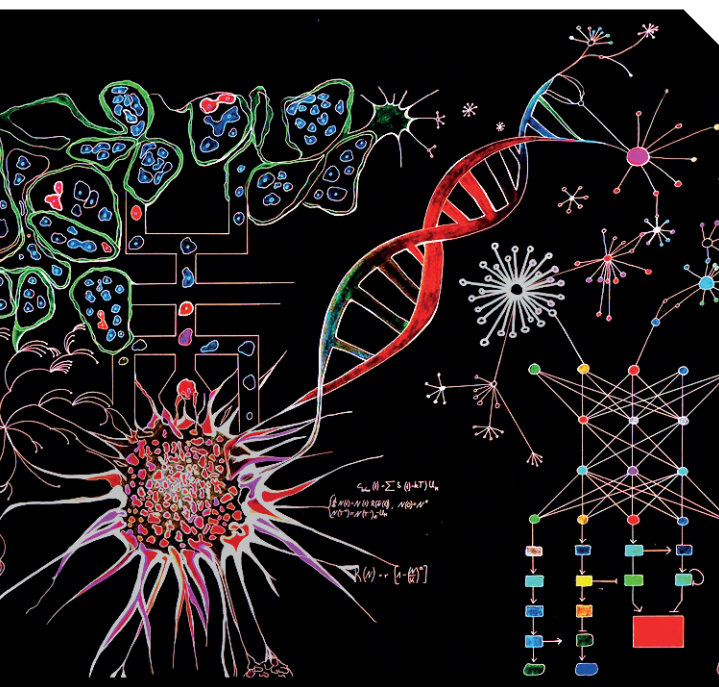


Voici deux ouvrages, issus des mémoires de fin d'études des ingénieurs-élèves, publiés aux Presses des Mines.



Retrouvez le témoignage vidéo de Bénédicte Colnet, diplômée en 2020
<https://buff.ly/30xErX7>

RAYONNER AU-DELÀ DE NOTRE SPHÈRE



Conception graphique par Lara Bucher.

BIOLOGIE DES SYSTÈMES DU CANCER : LES PROMESSES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

La diversité des tumeurs d'un patient à l'autre, et même celle des cellules cancéreuses d'un même patient, rend le tableau très complexe. L'idée d'une médecine « personnalisée » ou « de précision », visant à trouver un schéma thérapeutique adapté à chaque patient en fonction du bagage génétique individuel et du profil moléculaire de la tumeur, fait son chemin.

Du 28 septembre au 2 octobre 2020, le Centre de bio-informatique (CBIO MINES ParisTech) et l'Institut Curie ont co-organisé une formation internationale intitulée *Cancer systems biology: Promises of artificial intelligence*, sous l'égide de l'Organisation européenne de biologie moléculaire (EMBO) et de la Fédération des sociétés européennes de biochimie (FEBS).

L'objectif de cette formation EMBO | FEBS est de promouvoir une meilleure intégration des approches informatiques au sein des laboratoires et des hôpitaux. Il s'agit d'aider les participants à améliorer l'interprétation et l'utilisation des données multi-échelles qui sont aujourd'hui accumulées dans n'importe quel laboratoire biologique ou médical.

Destinée aux étudiants et post-doctorants et également aux professeurs d'université et aux industriels, cette formation s'est déroulée en ligne, pour cause de pandémie. Des conférenciers de premier plan, originaires de 10 pays (Allemagne, Canada, Belgique, Espagne, États-Unis, France, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse), issus de différents domaines de la biologie des systèmes du cancer, et notamment du domaine de l'intelligence artificielle (IA) et de l'apprentissage automatique (ML), ont mis l'accent sur le rôle des

méthodes AI / ML pour comprendre l'hétérogénéité de la tumeur et ses applications dans le développement de schémas de traitement personnalisés.

Parmi eux, les chercheurs de MINES ParisTech Chloé-Agathe Azencott et Thomas Walter sont intervenus sur le thème « Machine Learning applications in precision medicine ».

> en savoir + <https://meetings.embo.org/event/20-cancer-ai>

Contact :
Thomas Walter

L'EURO: QUELS ENJEUX POUR L'INDUSTRIE EUROPÉENNE?

Le 28 janvier 2020, l'association étudiante inter écoles *Aura* a invité Jean-Claude Trichet, ancien président de la Banque centrale européenne (2003-2011), pour une conférence, suivie de questions/réponses avec le public. « Une occasion unique de rencontrer l'un des pères de l'euro ainsi que l'une des personnalités qui a géré la crise financière de 2008 en Europe », ont déclaré les étudiants à la suite de cette rencontre à MINES ParisTech. Leur objectif ? Permettre aux étudiants de rencontrer les acteurs et penseurs du monde industriel autour des thèmes centraux de demain, notamment autour la problématique écologique, sous-analysée, sous un point de vue tout à fait nouveau.



Jean-Claude Trichet, ancien président de la Banque centrale européenne, en discussion avec les étudiants de MINES ParisTech.

ENTRETIENS DE TOULOUSE : 13^E ÉDITION

MINES ParisTech, partenaire des rencontres annuelles de l'aérospatial

Le rendez-vous des ingénieurs et des grands acteurs de l'aéronautique s'est déroulé les 28 et 29 octobre 2020 à Toulouse, pour la 13^e année consécutive.

Cette année encore, MINES ParisTech était partenaire de cet événement et animait une session de formation, dans le domaine « Innovation et compétitivité ».

• François Pellerin, chercheur associé à MINES ParisTech, est intervenu sur le thème : « Organisation et compétences dans l'usine du futur : vers le design du travail ».



FOCUS



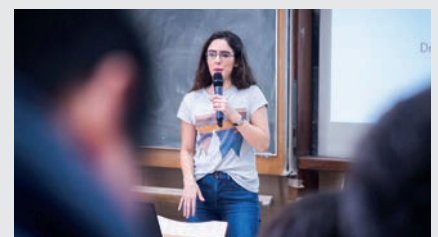
ÉTHIQUE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

En mars 2020, une série de conférences, organisées par le Centre de robotique MINES ParisTech, avec le soutien de l'Université Paris-Dauphine - PSL, de l'École normale supérieure - PSL et de l'Université PSL, a permis de réfléchir aux bouleversements qu'entraîne le développement de l'intelligence artificielle, tant au niveau de la responsabilité morale des individus que des sociétés.

Les thèmes suivants ont ainsi été abordés :

- **Éthique de la décision des systèmes autonomes**, avec **Jérôme Perrin** (Groupe Renault, membre du Comité national pilote d'éthique du numérique). Proposition de pistes en vue de l'élaboration d'une politique éthique du véhicule autonome impliquant les acteurs de la filière automobile et, plus généralement, de l'écosystème de la mobilité.
- **De l'Homme réparé à l'Homme augmenté**, avec **Guy Vallancien**, chirurgien, membre de l'Académie nationale de médecine et de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Auteur de « À l'origine des sensations, des émotions et de la raison : j'aime donc je suis » (l'Harmattan, 2019) et de « Homo Artificialis, plaidoyer pour un humanisme numérique » (Michalon, 2017).
- **Les biais algorithmiques sont une opportunité en intelligence artificielle**, avec **Aurélien Jean**, docteur MINES ParisTech en sciences des matériaux, experte en biomécanique, fondatrice d'In Silico Veritas (New York). Auteure de « De l'autre côté de la Machine - Voyage d'une scientifique au pays des algorithmes » (Éditions de l'Observatoire, 2019).
- **Le déploiement de l'IA, entre objectivité et imaginaire**: **Arthur Gaudron**, chercheur à MINES ParisTech, et **Elise Berlinski**, doctorante à l'ESCP, proposent d'aborder l'éthique comme la protection de l'autonomie des individus. Ils mettent en exergue la nécessité de mener une réflexion théorique pour décider collectivement de ce que les outils numériques peuvent faire.

Contact :
François Goulette



Aurélien Jean, numéricienne et entrepreneure, en conférence à MINES ParisTech, le 11 mars 2020.

RAYONNEMENT À L'INTERNATIONAL

2020 a été marquée par la crise sanitaire mondiale du Covid-19, mais forte de ses acquis et des relations solides qu'elle entretient avec des universités de 1^{er} rang, notre école a su rebondir et continuer à faire de l'international un de ses axes forts. En lien avec notre université PSL et avec d'autres écoles d'ingénieurs d'excellence françaises (dans le cadre de ParisTech et de l'IMT), les efforts ont été dirigés vers la consolidation de notre réseau européen, le maintien des admissions internationales, la pérennisation de nos instituts et double master à l'international et l'affirmation des doubles diplômes sortants.

MAINTIEN DE NOS RECRUTEMENTS ET DE LA DIVERSITÉ INTERNATIONALE

Notre première préoccupation a été d'accompagner les étudiants internationaux en formation au sein de notre école pour leur permettre de continuer leurs études - qu'ils aient choisi de rester en France ou de rentrer chez eux - et de vivre les confinements successifs de la meilleure façon possible. Le pourcentage d'étudiants internationaux dans le cycle Ingénieur civil, en Masters et Mastères spécialisés et au niveau doctoral reste stable.

Notre deuxième défi a été de permettre aux étudiants internationaux nouvellement recrutés de pouvoir débiter leur formation en même temps que le reste de leurs camarades, dans des conditions satisfaisantes. L'École a su faire preuve d'agilité en mettant en place ses cours à distance.

L'accueil de ces étudiants a bénéficié du travail rapproché de la Direction internationale de l'École avec les espaces consulaires et les représentations françaises à l'étranger et de la politique très volontariste menée par notre gouvernement. Par ailleurs, la qualité de l'accueil est un sujet qui nous tient à cœur et qui a été facilité par le *Welcome Desk PSL*, qui s'est mobilisé en déployant des aides d'urgence et des bons alimentaires et en mettant en place des événements culturels et sociaux à distance.

Maintenir notre activité à l'international et assurer un recrutement de qualité pour la rentrée de septembre 2021 a été aussi l'un de nos axes de travail. Adaptabilité et résilience ont encore été les mots clés. Nous avons basculé vers un mode de promotion et de recrutement complètement virtuel qui nous a permis d'atteindre nos objectifs.

NOTRE ANCRAGE EUROPÉEN : ATHENS ET EELISA

Définir « l'ingénieur européen », inscrire le diplôme d'ingénieur dans le processus de Bologne, former des citoyens engagés socialement, développer l'inclusion et favoriser la diversité sociale : ce sont des défis qui ont besoin d'une réponse au niveau européen, où l'École s'engage fortement.

MINES ParisTech est ainsi très impliquée dans des programmes européens en faveur de l'enseignement et de la recherche, à commencer par ATHENS (*Advanced Technology Higher Education Network*), réseau composé de 15 universités européennes et 7 universités parisiennes. Deux fois par an, une semaine d'échanges permet la mobilité d'environ 3500-4000 étudiants, dans toute l'Europe. À cause de la crise sanitaire, la semaine ATHENS de mars 2020 a dû être annulée et la semaine de novembre fut remplacée par un "format local". Le réseau ATHENS est néanmoins resté actif et s'est investi dans d'autres projets tels qu'IDEAL (*European soft skills for PhD: enhancing transversal skills through*

innovative doctoral courses). Coordonné par MINES ParisTech et financé par la Commission européenne, son objectif est de concevoir une formation doctorale de haut niveau, fondée sur les compétences transversales et orientée vers la résolution de défis auxquels sont confrontés aujourd'hui les chercheurs européens. En 2020, le catalogue de formations doctorales IDEAL (<https://ideal-phd-project.eu/>) a vu le jour, et une enquête (impliquant plus de 1200 répondants) a été lancée auprès des doctorants européens pour recenser leurs besoins en termes de formation.

L'intégration au niveau européen se joue aussi au niveau PSL. Aux côtés de Chimie ParisTech et d'autres établissements PSL, notre projet pour la mise en place d'une université européenne nommée « EELISA » a été retenu par la Commission européenne et doté d'un financement total de 5M€. EELISA (Alliance européenne pour l'innovation, l'apprentissage et la science en ingénierie) regroupe

neuf établissements d'enseignement supérieur dans sept pays européens, représentant plus de 180 000 étudiants et 50 000 diplômés par an, 16 000 professeurs et 10 000 employés. L'objectif est de réinventer le modèle d'ingénierie européen, afin de doter les futurs ingénieurs des capacités et compétences nécessaires pour aborder des problèmes techniques et sociétaux complexes. Dans le cadre de cette initiative PSL, est leader sur les questions de mobilité étudiante, d'inclusion et diversité et de définition du cadre commun des compétences de l'ingénieur de demain.

D'autres projets en faveur de l'éducation supérieure en Europe mobilisent l'École, dans le cadre du programme Erasmus+. Ainsi, dans le cadre de ParisTech, l'École a également été lauréate d'un appel à projet, Erasmus+ Mobilité de crédits, qui a pour but de contribuer au développement de la coopération entre la France et le Kenya (Université de Nairobi).

ParisTech

 Erasmus+

PSL 
UNIVERSITÉ PARIS


ATHENS NETWORK
ADVANCED TECHNOLOGY
HIGHER EDUCATION NETWORK

EELISA  European
Engineering Learning Innovation
& Science Alliance

SE FORMER À L'INTERNATIONAL : LES DOUBLES DIPLÔMES

Pour chacune de nos formations, confronter nos étudiants à l'international a toujours été au cœur de notre pédagogie. Généralement, les opportunités d'ouverture à l'international pour nos élèves sont multiples. Au cycle ingénieur, l'ensemble des élèves dédie en moyenne 10 mois à l'étranger au cours de leur scolarité, à travers notamment :

- des programmes courts de formation à caractère international (ATHENS, PSL, *Summer schools*) ;
- la réalisation de stages en entreprise à l'étranger ;
- des périodes de formation ou de recherche à l'étranger dans plus de 30 écoles partenaires.

La crise sanitaire a fortement impacté la mobilité sortante de nos étudiants en 2020. Les périodes de mobilité initialement prévues au cours du 1^{er} semestre ont dû être annulées ou décalées au 2^e semestre (seules les mobilités en Europe ont été possibles), mais quelques étudiants ont pu, tout de même, débiter leur double diplôme à l'international (en présentiel ou à distance) à Oxford, Harvard, Politecnico di Milano et GeorgiaTech. En 2020, environ 80 étudiants ont effectué un stage à l'étranger.



Top 5 des pays de destination pour les mobilités sortantes non-diplômantes : 1. Allemagne, 2. Chine et Singapour, 3. Suisse, 4. UK, 5. Europe du sud (Italie, Espagne et Portugal).

35%

d'étudiants de nationalités étrangères
(hors Corps des mines et apprentissage)

43%

de doctorants de nationalité étrangère

35%

d'étudiants internationaux en
Master spécialisé

80%

des élèves internationaux bénéficient
d'une aide ou bourse de mobilité

RAYONNEMENT ET PRÉSENCE À L'INTERNATIONAL

Au-delà de la sphère européenne, la réputation de MINES ParisTech franchit les frontières.

Les classements obtenus par Paris Sciences et Lettres (PSL) dans les classements internationaux, qui lui ont permis de devenir le 2^e établissement français (36^e du classement de Shanghai 2020 - ARWU, 46^e du classement mondial des universités 2021 - THE et 53^e du classement QS 2020), incarnent aussi ce rayonnement. L'École peut se prévaloir d'avoir concouru à ces excellents résultats, comme le démontrent certains des classements par sujet : 12^e (ARWU) *in Environment & Ecology*, 24^e (QS) *in Mineral & Mining Engineering*, 10^e (ARWU) *in Mathematics and Physics*, 99^e (US News) *in Materials Sciences*.

MINES ParisTech est présente en Chine, via ParisTech Shanghai Jiaotong - SPEIT (école franco-chinoise impliquant Ensta ParisTech, École polytechnique, Télécom ParisTech et Shanghai Jiaotong) et l'Institut Icare (*China-EU Institute for Clean and Renewable Energy*).

Soutenir nos deux instituts et continuer à les accompagner dans leur déploiement pédagogique a été au centre de nos préoccupations. Ainsi, nos professeurs se sont mobilisés pour continuer à offrir leurs cours à distance, et MINES ParisTech a encore accueilli en 2020 une quinzaine d'étudiants de nos partenaires (3 en programme doctoral, 5 en double diplôme et 10 dans le Master Énergie de PSL).

15%

d'enseignants-chercheurs de
nationalité étrangère

78

étudiants en stage à
l'international

10%

des étudiants ont effectué un
séjour d'échange de 6 mois à l'étranger

5

étudiants en double diplôme à
l'international



RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE

Soutenue par un dynamique réseau d'alumni, l'École propose à ses étudiants et enseignants-chercheurs un cadre d'étude et de travail exceptionnel. Documentation électronique, archives ouvertes, valorisation du patrimoine... À MINES ParisTech, la culture scientifique emprunte différents canaux et repose largement sur les compétences des services communs.

Un réseau de bibliothèques, sur les 4 sites de l'École, offre aux élèves et aux chercheurs livres et revues, mais aussi, et surtout, accès aux grandes bases internationales de documentation électronique.

Le Musée de minéralogie détient l'une des plus belles collections mondiales de minéraux. Il constitue un lieu unique d'accueil et de découverte pour le grand public et les visiteurs de l'École.

La Direction des systèmes d'information (DSI) offre son expertise et met à disposition de chacun les outils informatiques et de communication indispensables à son activité.

Les Presses des Mines proposent une solution éditoriale adaptée aux travaux scientifiques de haut niveau. Plus de 510 titres sont à leur catalogue (dont 39 nouveaux titres en 2020).



Les étudiants PSL présentent leur exposition « Une santé de fer » aux lycéens, à l'occasion de la Fête de la science, en octobre 2020.

LE MUSÉE DE MINÉRALOGIE : PERMETTRE DE S'ÉVADER ET DE SE CULTIVER

S'adapter à la pandémie de Covid-19 a été le mot d'ordre du musée en 2020. Pendant les périodes de fermeture obligatoire (de mars à juin, puis de novembre à décembre 2020), le musée a proposé de nombreuses activités et visites virtuelles. L'exposition « Une santé de fer », créée par des étudiants PSL, a donc été visible sur site, mais aussi proposée en ligne, via les réseaux sociaux et une série de vidéos sur la chaîne YouTube du musée. De nombreuses autres vidéos en « live » et asynchrones ont également été réalisées, permettant au public de s'évader et de se cultiver lors de cette période difficile.

Le personnel du musée s'est prêté au jeu des

webinaires et a co-organisé des réunions à l'échelle internationale en visioconférence, afin de remplacer les meetings professionnels sur sites. En coulisses, la fermeture du musée a permis d'avancer sur le récolement des collections et sur des travaux de réaménagement de vitrines, dans l'objectif d'une expérience de visite améliorée.

Malgré les conditions, deux inaugurations pour des expositions externes, auxquelles le musée a participé par des prêts d'échantillons, ont pu se tenir : au Musée Vert du Mans, pour l'exposition « Clair comme du Cristal », et au Muséum national d'histoire naturelle, pour « Pierres Précieuses ».

LA BIBLIOTHÈQUE POUSSE LES MURS

Lieu emblématique de l'École où l'on vient étudier, s'informer, se cultiver ou se rencontrer, lieu physique par excellence, la bibliothèque a su se réinventer pendant cette année 2020, pousser les murs et s'appuyer sur ses atouts documentaires et de service pour répondre aux besoins de ses publics à travers son guichet unique bibliotheque@mines-paristech.fr.

Soutien à l'enseignement, elle s'est largement impliquée dans les différents cursus, proposant des formations à la recherche documentaire en lien avec les programmes, à distance via Zoom et Campus lorsque nécessaire. Elle a inauguré le nouveau Trimestre recherche du cycle IC pour les 2A et une formation originale autour des « paléo-énergies » pour le Mastère RSE-DD, impliquant des recherches dans les ressources électroniques, les thèses anciennes et le fonds patrimonial. Près de 900 personnes ont bénéficié de ces formations pour un total de 165 heures.

Côté recherche, la bibliothèque a maintenu son activité de service support pour HAL (dépôt des thèses et publication des articles). Elle propose aussi un soutien à la rédaction des plans de gestion de données, de plus en plus demandés aux chercheurs et devenu un thème récurrent des « cafés doc ». Ces présentations courtes, ouvertes à tous, sont passées au format Zoom et ont rencontré un vif succès en 2020.

Enfin, la bibliothèque a poursuivi son action dans le cadre des plans de conservation partagés des périodiques en physique et en chimie, donnant une réelle visibilité nationale à l'excellence de ses collections. Le confinement a permis d'engager des tâches de fond sur les collections numériques, tandis que la valorisation du patrimoine a été à l'honneur à travers les réseaux sociaux - pas moins de 107 « posts » publiés – et le prêt d'ouvrages anciens au Musée de minéralogie, pour l'exposition Une santé de fer, ou hors de l'École, à de grandes institutions comme la Cité de l'architecture et du patrimoine à Paris.



Succès de la Nuit de la lecture 2020. La soirée de rencontre, Tolkien et les sciences, a beaucoup plu aux élèves et attiré 75 personnes dans l'amphi Schlumberger !

LA DSI EN PREMIÈRE LIGNE FACE À LA CRISE

La crise du Covid-19 a éprouvé la résilience de notre système d'information et notre capacité à nous adapter brutalement à la généralisation du télétravail. Pour aider les personnels à maintenir leur activité dans ces circonstances exceptionnelles, la DSI a été en première ligne. Les sollicitations ont été nombreuses, très nombreuses, mais ses équipes se sont fortement mobilisées, trouvant dans l'urgence des solutions techniques ou organisationnelles. Dans le cadre du projet d'hybridation des cours, un travail important a notamment été réalisé pour équiper 50 salles de cours pendant l'été.

Parallèlement, la DSI a continué à accompagner les centres de recherche dans la mise en place de nouveaux sites web. Le Centre de mise en forme des matériaux et le Centre de géosciences mettent en avant leurs projets de recherche dans un environnement graphique renouvelé et partagent avec les autres sites de l'École leur actualité toujours riche, telle que soutenances de thèse, sessions de formation et nouvelles publications. Trois autres centres s'appuient sur la DSI pour une refonte de leur site institutionnel en 2021.



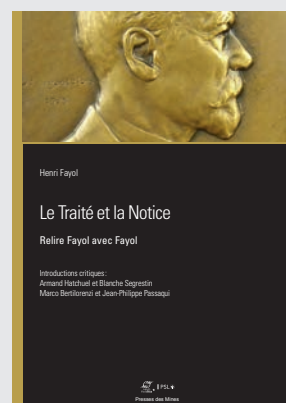
www.cemef.minesparis.psl.eu



www.geosciences.minesparis.psl.eu

PRESSES DES MINES : « VALORISER ET DIFFUSER »

Les Presses des Mines contribuent à valoriser et diffuser les travaux conduits, au sein de l'École, par les enseignants-chercheurs de MINES ParisTech. Les quelques ouvrages ici présentés témoignent d'une intense production scientifique, destinée aussi bien aux étudiants qu'à un public averti ou spécialisé.



> en savoir +
www.pressesdesmines.com

MIXITÉ SOCIALE – SOLIDARITÉ

MINES ParisTech cultive l'ambition de devenir un haut lieu de l'excellence académique en facilitant l'accès des meilleurs élèves aux études supérieures.

L'École encourage par ailleurs ses élèves à mener à bien des projets ayant une valeur pour autrui.

BOURSES ET FONDS D'URGENCE POUR LES ÉTUDIANTS

Le soutien aux étudiants est l'une des priorités de la Fondation Mines ParisTech.

À travers son programme de bourses, la Fondation permet à tous les étudiants talentueux de venir étudier à l'École des mines de Paris et de se concentrer sur leur scolarité. Ces bourses sont un facteur d'attractivité fort pour l'École.

Attribuées par une commission, qui se base exclusivement sur des critères sociaux, ces bourses permettent de soutenir les étudiants pendant leur cycle Ingénieur civil, et / ou pour des projets de mobilité internationale et de doubles diplômes.

Voici le témoignage de João Antonio Gorla Silva, boursier de la Fondation Mines ParisTech :

« Je voudrais vous remercier infiniment d'avoir accepté ma demande. Je suis profondément reconnaissant pour l'aide que vous m'avez donnée et une chose est sûre : je n'oublierai jamais cet acte. Je vous assure que je serai un donateur de la Fondation une fois que j'aurai les moyens de le faire. Merci beaucoup. »

Au printemps dernier, compte tenu du contexte sanitaire, la Fondation, très réactive, a pu débloquer rapidement des fonds d'urgence pour des étudiants, qui privés de leurs petits cours et indemnités de stages, se sont retrouvés démunis. Le fonds de bourses est exclusivement financé par les dons des alumni et des amis de la Fondation.



João Antonio Gorla Silva, élève ingénieur à MINES ParisTech.

CLASSGIFT P18 : UN NOUVEAU RECORD

2020 aura eu son lot de surprises mais les Ingénieurs civils n'ont pas dérogé à la tradition, instaurée par les P13 : le ClassGift. Pour sa 6^e édition, huit élèves de P18 ont développé un projet d'envergure pour valoriser le patrimoine de l'École des mines : rénover l'espace des boîtes aux lettres. Le but : en faire un espace ouvert, une vitrine de l'École et un lieu de rencontre et de travail, accessible à tous. Il sera notamment doté d'un accès PMR à la bibliothèque et d'une ouverture vers le jardin. Pour réaliser ce projet, il fallait être ambitieux, mais la crise sanitaire est venue bousculer le projet de campagne. Tant pis ! Elle sera faite sur les réseaux sociaux avec montages photos et vidéos mais aussi réunions Zoom pour expliquer l'objectif du ClassGift et inciter les élèves et les alumni à soutenir le projet.

Durant toute la campagne, l'équipe a pu compter sur l'aide de Véronique Jacq et de Stéphane Delacote, tous deux issus de la promotion 1988, pour mobiliser les alumni des P*8. Ceux-ci ont réitéré leur soutien au projet et leur fierté d'avoir accompagné une équipe si motivée. Ainsi, malgré toutes les difficultés liées au confinement, l'équipe, par ses initiatives d'un nouveau genre, a réussi à lever 52 500 €, un record !

Comme le veut la tradition, Thibault Hasting, représentant de la P18, a remis le chèque (virtuel), lundi 2 novembre, à Jean-Pierre Clamadieu, Président du nouveau Comité de Campagne. La remise s'est faite au cours d'une visioconférence, réunissant les équipes de la P18 et la P19 ainsi que leurs marraines et parrains respectifs.



L'équipe du Classgift 2020 dans le jardin de l'École.

SE DÉPLOYER POUR RELEVER LES DÉFIS DE DEMAIN

p.54
UNE ORGANISATION
DYNAMIQUE

p.55
LES MOYENS
FINANCIERS

p.56-57
LES EFFECTIFS

p.58
CONSEIL
D'ADMINISTRATION

p.59
ORGANIGRAMME

SOMMAIRE

UNE ORGANISATION DYNAMIQUE

FOCUS



UN AMBITIEUX PROJET SUR LE RECYCLAGE DES POLYMÈRES

MINES ParisTech, avec les écoles des mines rattachées à l'Institut Mines Télécom, l'École polytechnique, l'ENSTA Paris, l'École SIGMA Clermont, la fondation Mines ParisTech, le CNRS et ARMINES, est membre de l'institut Carnot M.I.N.E.S. Cet institut fédère ainsi 44 centres de recherche, qui rassemblent près de 2400 chercheurs.

Le label Carnot, label d'excellence attribué par l'ANR, distingue l'excellence scientifique et le professionnalisme de la relation partenariale. Il est aussi synonyme de création de nouvelles connaissances grâce à un abondement annuel.

En 2020, l'Institut Carnot M.I.N.E.S a ainsi lancé un ambitieux projet sur le recyclage des polymères. Mobilisant une trentaine de chercheurs, le projet combine les savoir-faire et compétences d'une communauté d'experts dans le domaine des polymères, mêlant physique, chimie, intelligence artificielle, modélisation mécanique et numérique, sciences économiques et sociales et gestion de l'innovation. L'objectif : être au plus près des questions des entreprises, anticiper les questions sociétales liées à l'utilisation des matières plastiques et apporter des réponses opérationnelles aux questions technologiques toujours plus complexes.

> en savoir +
www.carnot-mines.eu

FAIRE FRONT FACE À LA CRISE SANITAIRE

À peine créée, en mars 2020, la nouvelle direction de la gestion et des services (DGS) a dû faire front face à la crise sanitaire.

Si la DSI (direction des systèmes d'information) a été « en première ligne » (cf. p.51), la DRH (direction des ressources humaines) et la DAF (direction des affaires financières) ont dû, elles-aussi, s'adapter très rapidement à ce contexte inédit pour assurer la continuité de leurs services, notamment la paie des agents, les commandes des centres et des services, le suivi du budget de l'École et son ajustement, etc.

MINES PARISTECH CRÉE SON COMITÉ ENTREPRENEURIAT

Afin d'amplifier la mobilisation de toute l'École au bénéfice de la création d'entreprises, MINES ParisTech-PSL se dote d'un Comité Entrepreneuriat. Présidé par Jean-Michel Dalle, Directeur de l'incubateur Agoranov, qui a contribué à donner naissance à près de 500 start-ups innovantes, dont 5 « licornes », le Comité regroupe 8 spécialistes de la création d'entreprises et 8 invités permanents parmi les dirigeants de l'École et de son écosystème. Ce Comité, créé en mai 2021, aura pour mission de conseiller l'École en matière de politique entrepreneuriale et de projets à soutenir en priorité. Il contribuera à stimuler les liens entre entrepreneuriat, enseignement et recherche ainsi qu'à fédérer l'ensemble des acteurs de l'École, composante de PSL, et de son écosystème, autour de l'entrepreneuriat. Le Comité Entrepreneuriat a élu STEM et LIGAGEL lauréats de la 1^{re} édition du concours « MINES ParisTech Spin-Off ».



ARMINES A DÉMONTRÉ LA RÉSILIENCE DE SON MODÈLE DE COLLABORATION AVEC SES ÉCOLES PARTENAIRES

ARMINES est la première structure de recherche contractuelle de statut privé en France. Créée à l'initiative de l'École des mines de Paris il y a plus de 50 ans, ARMINES accompagne la stratégie de MINES ParisTech de rester le fer de lance de la recherche partenariale en France et au meilleur niveau mondial. Ses salariés partagent avec leurs collègues de l'École l'ambition unique de mener une démarche scientifique d'excellence qui se confronte en permanence aux besoins du monde socio-économique pour apporter des réponses qui auront un impact concret pour la société et les citoyens.

Dans une année 2020 en tous points extraordinaire, les 450 salariés d'ARMINES, de toutes catégories et sur tous les sites, ont démontré leur indéfectible engagement à la réussite de leurs missions et la résilience du modèle de collaboration avec leurs collègues des écoles et leurs partenaires. Au sein des centres de recherche communs avec MINES ParisTech, les recettes de l'activité contractuelle se sont maintenues à un haut niveau de près de 23M€ et 1000 contrats actifs.

Dans un environnement en perpétuelle évolution, ARMINES et MINES ParisTech poursuivent leur réflexion pour définir ensemble les voies d'une collaboration toujours plus étroite dans les années à venir et dans le cadre fédérateur de l'Université PSL. En ce sens, 2020 restera comme une année décisive pour ARMINES, qui poursuit sa modernisation et engage sa transformation.

Une concrétisation de cet engagement commun est la signature de grands projets structurants dans chacun des grands domaines scientifiques :

- H2-Mines, projet fédérateur Carnot avec Christian Beauger du Centre PERSEE ;
- MESSIAH, Chaire industrielle ANR avec Jacques Besson du Centre des matériaux (cf. p.28) ;
- ORCHYD, projet en coordination Europe avec Laurent Gerbaud et Hedi Sellami du Centre de géosciences ;
- Q-Feedback, bourse ERC de Pierre Rouchon du Centre automatique et systèmes (cf. p.32).

> en savoir +
www.armines.net



Le projet ORCHYD développera une nouvelle technique de forage dont la mise en œuvre combinera les technologies existantes pour aider à réduire le temps opérationnel de l'exploration géothermique et donc le coût total d'utilisation de l'énergie géothermique.



Le groupe H2MINES mobilise les compétences de dix-huit laboratoires de recherche afin de répondre aux enjeux de la production, du stockage et de l'utilisation de l'hydrogène.

MOYENS FINANCIERS

LES RESSOURCES

Le tableau ci-dessous indique la répartition des ressources de l'École agrégées selon leur origine et leur utilisation, en M€ (données en comptabilité générale)

RESSOURCES ÉCOLE	2019 réalisé	2020 réalisé	2021 prévisionnel
Dotation du ministère*	47,5	46,3	48,4
Ressources propres	9,6	9,8	9,9
Total	57,1	56,2	58,3

* dont masse salariale État et dotation à l'EPA

PARTENAIRES

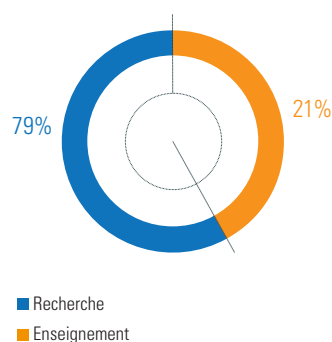
Armines	23,1	22,5	22
Fondation	3,1	2	3
CNRS	2,2	3,6	2,4
Autres	6,6	7,2	6,2
Filiale		0,1	0,3
Total Partenaires	35	35,4	33,85
Total agrégé	92,1	91,6	92,2

DÉPENSES ÉCOLE	2019 réalisé	2020 réalisé	2021 prévisionnel
Personnel	42	40,7	43,1
Fonctionnement et investissement	15,6	15,2	15,2
Total	57,6	55,9	58,3

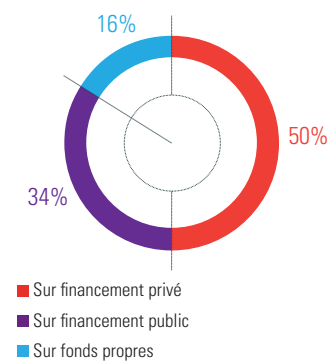
LES DÉPENSES

Les dépenses sont présentées selon une vision agrégée (École + partenaires)

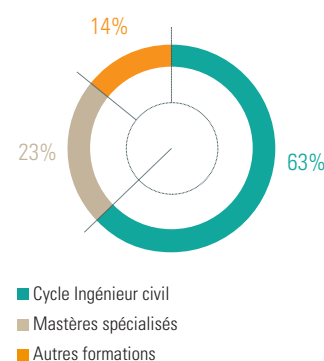
RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ



RECHERCHE



ENSEIGNEMENT



LES EFFECTIFS AU 31 DÉCEMBRE 2020

	Total École	RÉPARTITION PAR EMPLOYEUR			RÉPARTITION PAR FONCTION				Docteurs inscrits dans d'autres établissements
		EPA/MEF	ARMINES	Autres	Enseignants Chercheurs	Autres personnels	Docteurs	Jeunes chercheurs (post-doctorants)	
					(1)				(2)
DIRECTIONS									
Direction générale & Services généraux (DG)	49	49				49			
Direction du Corps des mines	4	3		1		3	1		
Direction de l'Enseignement (DirEns)	26	26				26			
Direction de la Recherche (DR)	7	7				7			
Délégation Paris	14	14				14			
Délégation Fontainebleau	9	9				9			
Délégation Sophia Antipolis	10	10				10			
Délégation Évry	4	4				4			
SOUS-TOTAL	123	122	-	1	-	122	1	-	-
SERVICES COMMUNS									
Direction des systèmes d'information (DSI)	27	23	3	1		27			
Bibliothèque	17	17				17			
Musée de minéralogie	5	5				5			
SOUS-TOTAL	49	45	3	1	-	49	-	-	-
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT									
Géosciences	97	53	28	16	40	25	31	1	
SOUS-TOTAL	97	53	28	16	40	25	31	1	-
ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS									
Efficacité énergétique des systèmes (CES)	63	26	20	17	12	20	29	2	
Thermodynamique des procédés (CTP)	22	11	7	4	4	9	7	2	
Procédés, énergies renouvelables et systèmes énergétiques (Persée)	43	22	15	6	12	12	18	1	
Observations, impacts, énergie (OIE)	19	10	6	3	8	5	6		
SOUS-TOTAL	147	69	48	30	36	46	60	5	-
MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX									
Mise en forme des matériaux (CEMEF)	136	48	41	47	31	26	70	9	4
Matériaux (MAT)	152	49	42	61	29	39	78	6	7
Mécanique des solides (LMS) ⁽²⁾	1		1		1				
SOUS-TOTAL (HORS LMS)	288	97	83	108	60	65	148	15	11
MATHÉMATIQUES ET SYSTÈMES									
Centre de robotique (CAOR)	52	25	13	14	13	16	22	1	
Automatique & systèmes (CAS)	26	12	5	19	8	2	16		
Mathématiques appliquées (CMA)	27	12	7	8	7	5	14	1	
Morphologie mathématique (CMM)	20	12	2	6	8	3	9		
Recherche en informatique (CRI)	15	10		5	6	2	7		4
Bio-informatique (CBIO)	15	6	4	5	3		11	1	
SOUS-TOTAL	155	77	28	50	45	28	79	3	4
ÉCONOMIE, MANAGEMENT, SOCIÉTÉ									
Économie industrielle (CERNA)	25	10	2	13	7	2	15	1	
Gestion scientifique (CGS)	49	25	5	19	11	9	29		
Risques et crises (CRC)	17	12	2	3	9	3	5		
Sociologie de l'innovation (CSI)	30	10	6	14	11	5	13	1	
SOUS-TOTAL	121	57	15	49	38	19	62	2	
INSTITUTS DE FORMATION - POLLEN									
Institut des hautes études pour l'innovation et l'entrepreneuriat (IHEIE)	7	7				7			
Institut supérieur d'ingénierie et de gestion de l'environnement (ISIGE)	8	7	1		3	4		1	
Institut ICARE	1	1			1				
Pollen	1	1			1				
SOUS-TOTAL	17	16	1	-	5	11	-	1	-
TOTAL GÉNÉRAL	997	536	206	255	224	365	381	27	15

⁽¹⁾ Ingénieurs fonctionnels, personnels techniques et administratifs et visiteurs

⁽²⁾ Étudiants inscrits dans des établissements extérieurs

⁽³⁾ Le LMS ayant pour tutelle principale l'École polytechnique, ses personnels ne sont pas comptés dans les totaux

LES EFFECTIFS DES CYCLES DE FORMATION

	CYCLE	Durée	2019/2020	2020/2021	Femmes	Étrangers	Diplômes 2020
INGÉNIEURS CIVILS (IC)							
	3 ans		655	677	27%	14%	194
1 ^{re} année			125	128	22,7%	5,5%	-
2 ^e année			164	159	30,8%	19,5%	-
Scolarité personnalisée (entreprises à l'étranger)			120	124	29,8%	15,3%	-
Scolarité personnalisée (double diplôme étranger)			1	11	36,4%	36,4%	-
3 ^e année			194	197	25,9%	16,8%	-
Fin de scolarité ⁽¹⁾			51	58	20,7%	1,7%	194
INGÉNIEURS DE SPÉCIALITÉ (IST) - MINES PARISTECH							
	3 ans		73	72	18,1%	5,6%	25
1 ^{re} année (apprentis seuls)			18	15	20%	6,7%	-
2 ^e année (apprentis)			18	18	27,8%	5,6%	-
3 ^e année (apprentis)			18	18	22,2%	-	16
2 ^e année (fc)			10	10	10%	-	-
3 ^e année (fc)			9	11	-	18,2%	9
MASTERS PSL & MINES PARISTECH							
	2 ans		69	79	42%	54%	54
Énergie PSL M1			9	8	50%	58%	-
Énergie PSL M2			32	38	32%	64%	32
SGM PSL M1			5	9	44%	11%	-
SGM PSL M2			23	24	54%	54%	22
MASTÈRES SPÉCIALISÉS ET FORMATIONS SPÉCIALISÉES							
	9-24 mois		272	216	41,1%	35,7%	222
AI-MOVE (Intelligence artificielle)			7	8	25,0%	25,0%	7
Management international de l'énergie (ALEF)			18	14	50%	43%	15
CFSG : Géostatistique			6	-	-	-	6
Deep Tech Entrepreneur (DTE)			-	Rentrée reportée	-	-	-
Design des matériaux et des structures (DMS)			12	13	31%	77%	11
Énergies renouvelables (ENR)			13	13	15%	15%	13
Management international de l'environnement (ENVIM- Asie)			17	-	-	-	15
Management international de l'environnement (ENVIM- Europe)			2	22	68%	23%	2
Ingénierie et gestion du gaz (GAZ)			12	15	13%	80%	11
Calcul intensif et Intelligence artificielle (HPC-AI)			7	7	29%	100%	5
Ingénierie et gestion de l'environnement (IGE)			30	30	60%	-	30
Matériaux, procédés de fabrication et modélisation (MAPMOD)			3	4	25%	75%	3
Management industriel et excellence opérationnelle (MILÉO)			7	6	50%	50%	6
Industrie des ressources minérales & société (MIRIS)			14	12	8%	100%	8
Management industriel & systèmes logistiques (MISL)			18	12	33%	33%	18
Maîtrise des risques industriels (MRI)			36	16	31%	25%	36
Executive MS Management strat. de l'info. et des technologies (MSIT) ⁽²⁾			23	Rentrée reportée	-	-	20
Optimisation des systèmes énergétiques (OSE)			17	16	25%	38%	16
Executive MS RSE et développement durable (RSE-DD)			30	28	68%	4%	-
DOCTORAT PSL PRÉPARÉ À MINES PARISTECH							
	3 ans		392	376	28,1%	43,4%	89
1 ^{re} année			107	85	27%	40%	-
2 ^e année			115	104	32%	46%	-
3 ^e année			86	112	30%	48%	26
Prolongation			84	75	21%	37%	63
CORPS DES MINES							
	3 ans		44	44	20,5%	-	14
1 ^{re} année			14	14	28,6%	-	-
2 ^e année			14	14	7,1%	-	-
3 ^e année			16	16	25%	-	-
TOTAL ÉCOLE (DÉFINITION DU COP) ⁽³⁾			1 505	1 464	29%	26%	598
BADGE ACCRÉDITÉS PAR LA CGE							
	10-12 mois		28	22	50%	100%	29
Management hospitalier (MA-HOS)			8	-	-	-	29
Régulation de l'énergie (RDE)			20	22	50%	100%	-
MASTER CARE AVEC HUST							
	10-12 mois		223	222	36%	100%	49
CARE Énergie Propre et renouvelable-M1			79	74	35%	100%	-
CARE Énergie Propre et renouvelable-M2			72	66	33%	100%	-
CARE Énergie Propre et renouvelable-M3			72	82	37%	100%	49
PARISTECH SHANGHAI JIAO TONG (INGÉNIEUR SPEIT 1A-2A-3A-4A-5A-6A) ⁽⁴⁾							
	12 mois		497	521	37%	100%	63
TOTAL GÉNÉRAL			2 253	2 251	31,4%	52,7%	739

⁽¹⁾ Doubles diplômes ESPCI Paris, Polytechniciens et Normiens

⁽²⁾ Mastère en collaboration avec Dauphine - PSL

⁽³⁾ COP : Contrat d'objectifs et de performance

⁽⁴⁾ En commun avec École polytechnique, Télécom Paris et Ensta Paris

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Président

Jacques ASCHENBROICH

Président directeur général de Valeo

Personnalités nommées par le ministre chargé de l'Industrie

Victoire DE MARJORIE

Présidente du Conseil de surveillance, Ixellion

Paul DUPHIL

Président de MINES ParisTech Alumni

Jean-Christophe MIESZALA

Directeur général, McKinsey France

Sophie REMONT

Directrice de l'expertise et des programmes, Bpifrance

Ulrike STEINHORST

Administratrice indépendante, Valeo

Représentants de l'État désignés par le ministre chargé de l'Industrie

Sophie MOURLON

Directrice de l'énergie - DGEC, Ministère de la transition écologique et solidaire

Mylène ORANGE-LOUBOUTIN

Secrétaire générale adjointe des ministères économiques et financiers

Luc ROUSSEAU

Vice-président du Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies

Représentant de l'État désigné par le ministre chargé de l'enseignement supérieur

Alain BERNARD

Conseiller scientifique - DGESIP, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

Représentant de l'État désigné par le ministre chargé de la recherche

Xavier MONTAGNE

Adjoint au directeur scientifique « Énergie, développement durable, chimie et procédés », DGRI, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

Représentants des collectivités territoriales d'implantation de l'École

Jean-Pierre LECOQ

Conseiller régional d'Île-de-France, Maire du 6^e arrondissement

Marie-Christine LEMARDELEY

Adjointe au maire de Paris, chargée de l'enseignement supérieur, de la recherche et de la vie étudiante

Représentants des personnels de MINES Paris

Madeleine AKRICH

Directrice de recherche, Centre de sociologie de l'innovation
Collège des professeurs et assimilés

Daniel PINO MUNOZ

Enseignant-chercheur, Centre de mise en forme des matériaux
Collège des maîtres assistants et assimilés

Michaël COHEN

Ingénieur de recherche, Centre efficacité énergétique des systèmes
Collège des autres personnels

Représentants des élèves de MINES Paris

Victor AMBLARD

au titre des étudiants en formation d'ingénieurs, de masters et de formations spécialisées

Sully MARIGLIANO

au titre des étudiants en formation d'ingénieurs, de masters et de formations spécialisées

Louise TAUPIN

au titre des étudiants en formation doctorale

Assistent avec voix consultative

Vincent LAFLECHE

Directeur général de MINES Paris

Alain FUCHS

Président de l'Université Paris Sciences & Lettres

Philippe SAUVAGE

Chef du département de contrôle budgétaire, représentant le contrôleur budgétaire et comptable ministériel

Franck RASSU

Agent comptable de MINES Paris

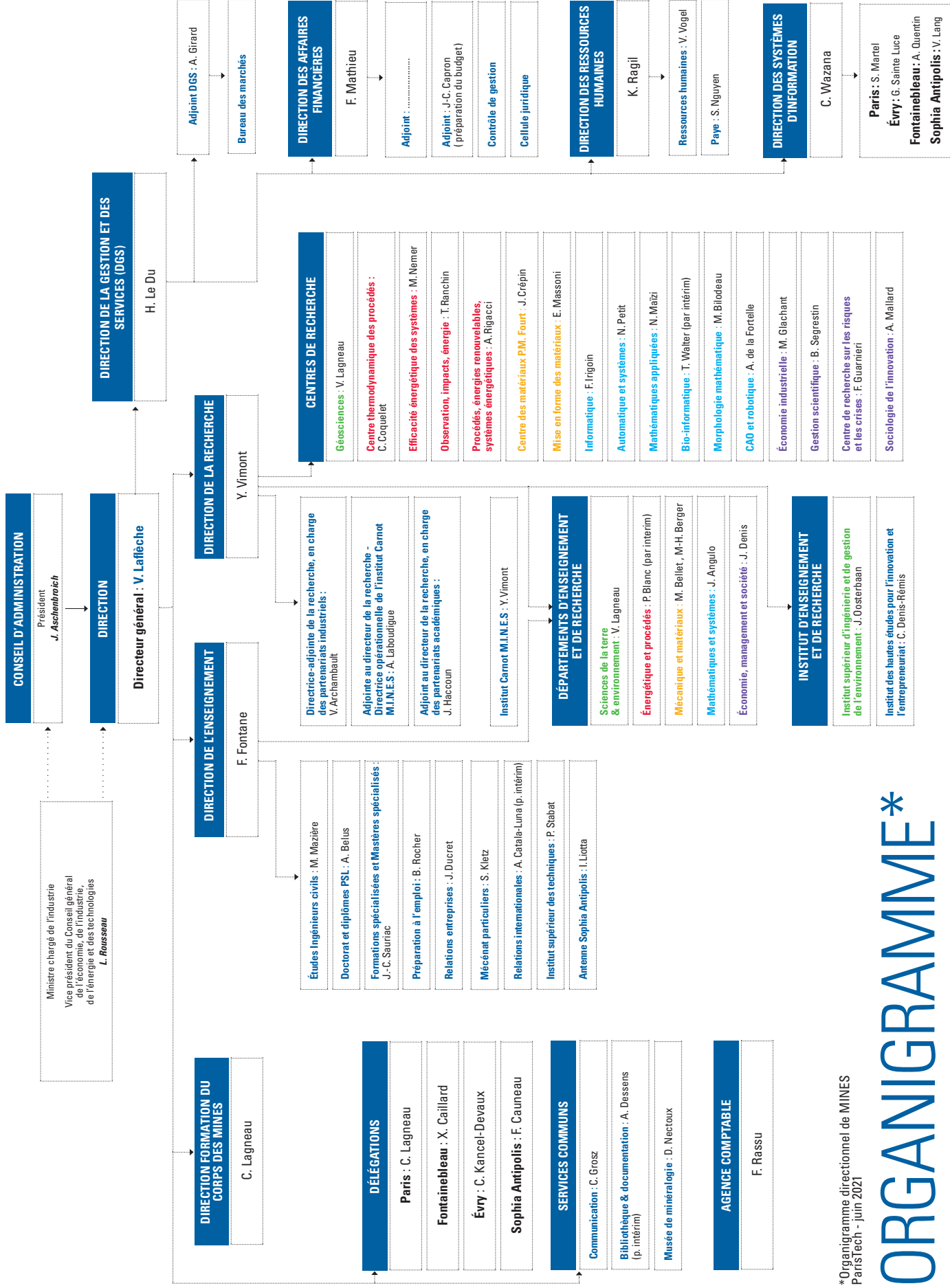
Invités permanents

Odile GAUTHIER

Directrice générale de l'Institut Mines-Télécom

Olivier BAUJARD

Président d'ARMINES



*Organigramme directionnel de MINES ParisTech - juin 2021

ORGANIGRAMME*