



RAPPORT D'ACTIVITÉ 2019



Facteurs organisationnels et humains pour l'évaluation des méthodes END (FOEHN). Cette recherche du département Économie, management et société a inspiré la couverture de ce rapport d'activité (voir p.32).

ÉDITORIAL	P. 03
UNE AMBITION RÉAFFIRMÉE	P. 04
MINES PARISTECH EN BREF	P. 05
RÉTROSPECTIVE 2019	P. 06

EXCELLENCE SCIENTIFIQUE

ENTRETIEN AVEC YANNICK VIMONT	P. 08
PRIX ET RÉCOMPENSES	P. 10
ENTREPRENEURIAT ET RELATIONS ENTREPRISES	P. 12
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT	P. 14
ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS	P. 18
MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX	P. 22
MATHÉMATIQUES ET SYSTÈMES	P. 26
ÉCONOMIE, MANAGEMENT ET SOCIÉTÉ	P. 30

ACCOMPAGNER L'INGÉNIEUR ET LE CHERCHEUR DU FUTUR

ENTRETIEN AVEC JÉRÔME ADNOT	P. 34
CYCLE INGÉNIEUR CIVIL	P. 36
MASTÈRES SPÉCIALISÉS	P. 38
FORMATION CONTINUE	P. 39
DOCTORAT	P. 40
CORPS DES MINES	P. 41

RAYONNER AU-DELÀ DE NOTRE SPHÈRE

INTERNATIONAL	P. 44
RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE	P. 46
MIXITÉ SOCIALE - SOLIDARITÉ	P. 48

SE DÉPLOYER POUR RELEVER LES DÉFIS DE DEMAIN

UNE ORGANISATION DYNAMIQUE	P. 50
MOYENS FINANCIERS	P. 51
EFFECTIFS	P. 52
CONSEIL D'ADMINISTRATION	P. 54
ORGANIGRAMME	P. 55

ÉDITORIAL

« Le démarrage de la nouvelle maquette du cycle Ingénieur : un marqueur de la stratégie de l'École. »



V. LAFLÈCHE
DIRECTEUR DE MINES PARISTECH

Une école exemplaire pendant la période de confinement

L'École peut être fière de sa gestion de la période de confinement imposée par la Covid 19. Elle a, en effet, su préparer puis mettre en œuvre un plan de continuité dans des délais très brefs : mesures d'hygiène strictes, continuité pédagogique pour l'ensemble des cycles de formation, poursuite de toutes les activités de recherche, à l'exception de certaines activités expérimentales.

Notre soutien aux acteurs de la santé s'est manifesté par différents projets de recherche ou d'ingénierie, comme la conception de poussettes-alternatives, la production de matériel sur nos imprimantes 3D, le don de masques...

Ceci a été possible grâce à l'engagement sans faille des enseignants-chercheurs et la capacité d'adaptation des fonctions support de l'École. Le réseau des anciens élèves, alumni, a été précieux pour proposer des stages, en urgence, à des étudiants « en panne » de stages à l'étranger, y compris pour les césures sur la prochaine année 2020-2021.

L'inauguration de l'amphithéâtre Schlumberger, complètement rénové, a été l'occasion de présenter le bilan remarquable de la campagne de levée de fonds 2014-2018 de la Fondation. Plus de 35 M€ collectés, grâce aux chaires de mécénat et aux donations des alumni. Nous remercions vivement les membres du comité de campagne.

Le démarrage de la nouvelle maquette du cycle Ingénieur : marqueur de la stratégie de l'École

L'année 2019 a été marquée par la mise en place de la nouvelle maquette de notre cycle « Ingénieur civil ». Après 18 mois de travail, ce nouveau cycle, plus modulaire, riche d'innovations pédagogiques, qui renforce le lien entre enseignement et recherche, est une étape clé dans la mise en œuvre du plan stratégique de l'École, adopté en 2017. Ce travail a été salué par la « Commission des titres d'ingénieur », qui est venue auditer l'École en début d'année 2020. Tous nos diplômés réaliseront désormais au moins six mois à l'étranger, la durée moyenne étant proche, dans les faits, d'un an.

Les classements (2^e dans *L'Usine Nouvelle* en février, 3^e dans *Le Figaro*, en décembre) confirment, cette année encore, l'excellence de notre école, aussi bien au niveau national qu'international, désormais largement dans un contexte PSL.

L'excellence de notre recherche dans les mathématiques et l'IA reconnue

L'activité de recherche dans le domaine de la transition écologique et de la transformation énergétique s'est maintenue en 2019, avec une augmentation de la formation par la recherche et du nombre d'inscrits dans nos masters spécialisés.

Les distinctions reçues en 2019 et en ce début 2020 soulignent l'importance de notre activité de recherche



J. ASCHENBROICH
PDG DE VALEO
PRÉSIDENT DU CA DE MINES PARISTECH

« Plus que jamais, la science et la technologie sont indispensables pour comprendre les mutations que nous vivons. »

dans le domaine de l'IA, avec deux nouvelles chaires (chaire « Azencott » et chaire « Walter ») et deux ERC (European Research Council), pour l'équipe du CAS, bourses remportées par Zaki Leghtas et Pierre Rouchon.

De nouveaux statuts pour PSL et Mines ParisTech, dans le calendrier prévu par le plan stratégique de l'École

Le décret validant les nouveaux statuts de PSL est paru le 6 novembre 2019. Cette parution parachève un chantier institutionnel entamé il y a moins de dix ans. Elle consacre la reconnaissance de PSL au rang d'université de plein exercice et contribue au rapprochement entre grandes écoles et universités. Les établissements « composantes » modifient leurs propres statuts afin de garantir une cohérence avec celui de l'Université. Ainsi, l'École devient, le 16 décembre 2019, par décret au Conseil d'État, EPSCP (établissement à caractère scientifique, culturel et professionnel) Grand établissement. Cette transformation administrative marque la présence d'un pôle ingénierie fort au sein d'un des plus importants regroupements parisiens, ouvrant à une diversité de parcours qui bâtit l'ingénieur du XXI^e siècle. Cette évolution coïncide avec le positionnement généraliste historique de l'École, qui, depuis toujours, fait notre force et notre fierté.

MINES PARISTECH

UNE AMBITION RÉAFFIRMÉE

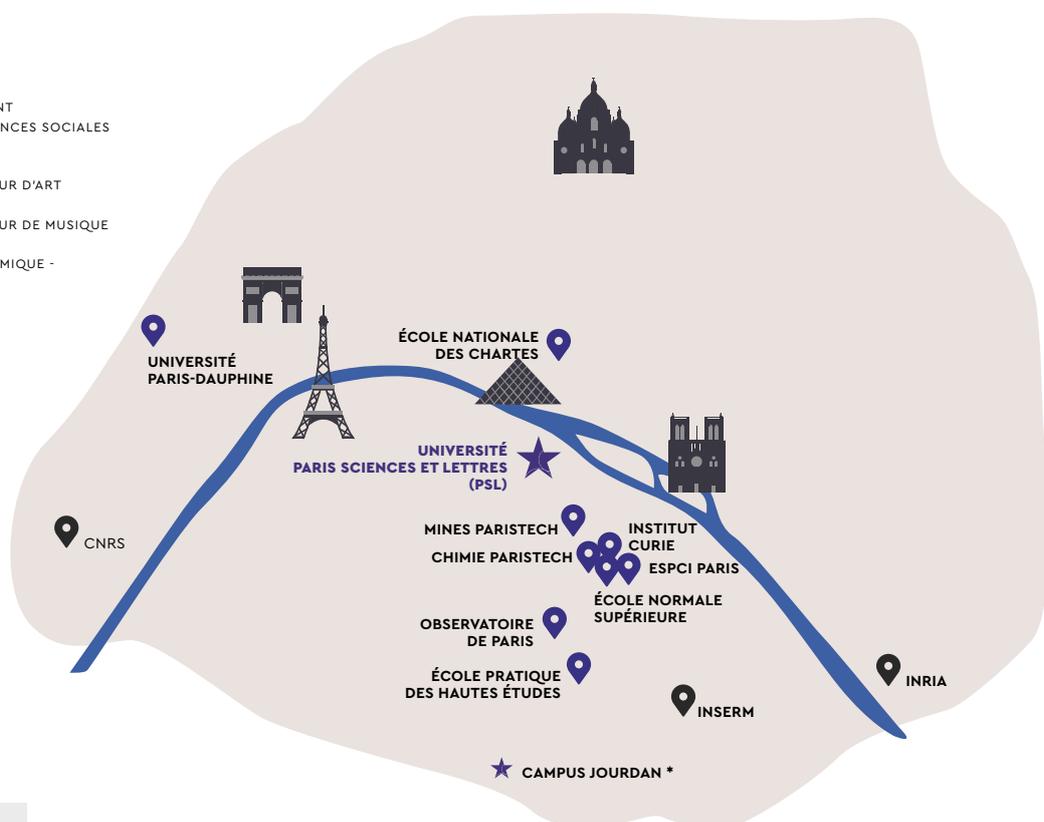
« Grâce à son excellence, confortée par PSL, MINES ParisTech forme les scientifiques et les ingénieurs entrepreneurs du 21^e siècle, à même de relever les défis d'un monde en mutation, notamment énergétique et numérique. »

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



* 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
- 230** diplômés de **19** Mastères spécialisés (dont 2 créés en 2018)
- 15** ingénieurs du Corps des mines
- 80** nouveaux docteurs diplômés par an
- 150** stagiaires en formation continue

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

Plus 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
- 760** contrats de recherche par an
- 200** partenaires industriels représentant $\frac{3}{4}$ des contrats directs
- 25** chaires d'enseignement et de recherche
- 20** entreprises créées grâce à l'École au cours des 5 dernières années : Spotistic, Expliseat, 1Year 1Book, Nest for All, Weezic...
- 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)
- 2** ERC (**150 dans PSL** depuis 2012)
- 232** enseignants-chercheurs (**2 900 dans PSL**)
- 18** centres de recherche, en pointe dans leur domaine (**140 laboratoires dans PSL**)
- 80** 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 2019

JANVIER

10 Conférence publique à l'École de **Claire Nouvian**, présidente de l'association **Bloom**, dédiée à la protection des océans, invitée par l'Isige MINES ParisTech.

14-15 **Paula Perez-Lopez** (O.I.E MINES ParisTech), conférencière invitée à l'Institut IWF de l'Université technique de Braunschweig (Allemagne).

21-25 **Solar Radiation Training Course** : 7^e formation destinée aux experts de l'énergie solaire, organisée par le centre O.I.E MINES ParisTech.

26 **Hack@thon pédagogique** : mobilisation des étudiants et des alumni pour contribuer à l'élaboration du futur cursus Ingénieur civil.



FÉVRIER

12-13 Participation de **Benoît Gschwind** et **Yves-Marie Saint-Dréan** (O.I.E MINES ParisTech) au projet européen **CLIM2POWER**, dédié au développement de services climatiques pour l'énergie, à Bruxelles (Belgique).

MARS

14 Débat sur la transition énergétique à MINES ParisTech, en présence d'**Emmanuelle Wargon**, secrétaire d'État auprès de la ministre de la transition écologique et solidaire (cf. p48).

14-15 Participation d'**Eric Ballot** (CGS MINES ParisTech) au forum *Trade Digitalization for Sustainable Regional Integration*, au bureau de l'ONU, à Bangkok (Thaïlande).

30 1^{re} cérémonie de **remise de diplôme de ParisTech Shanghai JiaoTong**, en présence des directeurs des quatre écoles partenaires françaises.



AVRIL

1-5 **Analyse de cycle de vie** : 7^e édition de cette formation en anglais, dispensée par le centre O.I.E MINES ParisTech, référencée comme « Cours doctoral d'excellence ».

18 Conférence de **Fabien Ors** (Géosciences MINES ParisTech) au séminaire *Terradue, Advancing Earth Science Collaboratively*, dans le cadre du projet H2020 INTAROS (*INTEgrated ARctic Observation System*).

Publication dans le **Journal ACS Catalysis** (*American Chemical Society*) des travaux du Centre Persée MINES ParisTech et de ses partenaires du projet ANR MOISE, sur les matériaux de cœur de pile à combustible (pp.4688-4698).

22 Célébration de la **Journée de la Terre** : balade géologique à Montmartre, organisée par **Damien Huyghe** (Géosciences MINES ParisTech).



MAI

9-10 Lancement du **projet H2020 e-shape** pour renforcer les bénéfices du système global des systèmes d'observation de la Terre pour l'Europe, coordonné par **Thierry Ranchin** (O.I.E MINES ParisTech).



16 **Remise du chèque du ClassGift** de la promotion P17, avec un montant total de 50000 € collectés pour cette cinquième édition (cf. p48).

28 **Damien Goetz** (Géosciences MINES ParisTech) donne une conférence lors de la journée organisée par le Comité pour les métaux stratégiques (Comes).

JUIN

3-5 **Noëlle Billon** (Cemef MINES ParisTech) est l'organisatrice du stage pédagogique du GFP, « La mécanique des polymères expliquée au chimiste » (76 participants).

7-9 **Festival d'Histoire de l'Art à Fontainebleau**. Le ministre de la culture, **Franck Riester**, visite l'exposition « Les élèves de l'École des mines en Scandinavie », organisée par la bibliothèque en partenariat avec le musée de minéralogie.



9-12 **IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2019** : 900 participants sur

trois jours de conférences et un jour de démonstration (dont 15 véhicules autonomes européens) sur les pistes de Satory (organisé par le Caor MINES ParisTech).

13 Présentation par **Laurent Fulcheri** des recherches conduites depuis près de 20 ans au centre Persée MINES ParisTech au colloque sur les enjeux de la production d'hydrogène décarboné, à la Maison de la Chimie.

17 **Maja Horst** (département *Media, Cognition & Communication* de l'Université de Copenhague), invitée du CSI MINES ParisTech, dans le cadre du **projet européen Scalings**, pour ses travaux sur « innovation scientifique et responsabilité ».

17-21 **Charles-André Gandin** (Cemef MINES ParisTech), co-chairman de la 5th *International Conference on Advances in Solidification Processes (ICASP-5)*, à Salzburg, Autriche (200 participants).

19-21 Conférences de **Christian Lantuéjoul** et **Xavier Freulon** (Géosciences MINES ParisTech) à la **8^e réunion internationale du GdR « Géométrie stochastique**», en Avignon.

JUILLET

2 **MINES ParisTech Research Day**: 330 participants pour ces rencontres chercheurs/entreprises. Signature d'un **partenariat avec GRT gaz**.



4 Renouveau de la chaire **Mines Urbaines**, dont le correspondant à MINES ParisTech est **Franck Aggeri** (CGS).

5-12 **Tatiana Budtova** (Cemef MINES ParisTech), chairman de la session *Chemistry, Materials and Resources for Sustainable Construction*, IUPAC, à Paris (100 participants).

8 Création d'une chaire enseignement **Métiers de l'ingénieur généraliste**. La start-up *Spacetrain*, premier partenaire.

14 Inauguration, en présence du sous-préfet, du **portail de l'École à Fontainebleau** (quartier Boufflers), dont la rénovation a été financée par la Fondation.

SEPTEMBRE

A **1^{re} rentrée du Master Géosciences PSL**, porté par MINES ParisTech, ENS, Observatoire de Paris, ESPCI Paris et École pratique des hautes études.

Parution du livre SCRIPTOPOLIS, avec les textes et illustrations de l'historien Philippe Artières (CNRS) et des **chercheurs du CSI MINES ParisTech**, Marie Alauzen, Jérôme Denis, David Pontille et Didier Torny (éditions Non Standard).

Succès de la **5^e édition du MOOC PEG** (4 847 inscrits), coordonné par Laurent Fulcheri (Persée MINES ParisTech) avec le soutien de 3 doctorants du centre : Fian Assemien, Kévin Bellinguer et Valentin Mahler.

30 **Lancement de HyTREND**, projet Carnot fédérateur centré sur la filière hydrogène-énergie, coordonné par **Christian Beauger** (Persée MINES ParisTech).

10-13 **Isabelle Cojan** (Géosciences MINES ParisTech) co-préside une session du 34^e Congrès de sédimentologie, à Rome.

19 Cérémonie de **clôture de la campagne de développement 2014-2018** et inauguration de l'amphithéâtre Schlumberger, en présence des alumni, donateurs, bienfaiteurs et partenaires qui ont pris part à cette campagne.

19-20 XIV^e **journées de Géostatistique**, organisées par le centre de Géosciences.

26 **19^e événement Ose** - Journée de la Chaire MPDD : « *Quels vecteurs énergétiques pour une mobilité décarbonnée* » ?

27 Séminaire **Droit et santé** (cf. Focus p. 43).

OCTOBRE

Intelligence Artificielle et Santé : deux nouvelles chaires de recherche pour le Cbio MINES ParisTech (cf. p. 13).

27 **1^{re} rentrée du Mastère spécialisé, MS HPC-AI**, Calcul haute performance et Intelligence artificielle au service de l'énergie, du transport, de la santé, de l'agriculture et de la finance.

NOVEMBRE

4-9 Des chercheurs du Centre O.I.E MINES ParisTech, membres de la délégation française au **Sommet mondial du Group on Earth Observation**, à Camberra (Australie).

9-12 **Christian Bauger** présente les travaux sur les aérogels pour l'énergie du centre Persée MINES ParisTech à l'*International Conference on Advanced Sciences*, à Hurghada (Égypte).

11-12 Les 20 ans du **French Double Degree Programme**, programme de double diplôme avec l'Université de Singapour.

20-21 **Lancement du projet H2020 Smart4RES**, destiné à améliorer la prévision des énergies renouvelables et leur intégration dans le système électrique, coordonné par Georges Kariniotakis (Persée MINES ParisTech).

DÉCEMBRE

9 Le CMA MINES ParisTech présente deux *side events* à la **COP 25**, à Madrid (cf. p. 29).



A **Parution de deux ouvrages** de chercheurs du CSI MINES ParisTech : Vincent-Arnaud Chappe, *L'Égalité au travail. Justice et mobilisations contre les discriminations* (Presses des mines) et V.-A. Chappe, J.-M. Denis, C. Guillaume et S. Pochic, *La fin des discriminations syndicales? Luttés judiciaires et pratiques négociées* (Éditions du Croquant).

11 **Lancement de la chaire Big Meca**, en partenariat avec Safran, portée par le CMAT MINES ParisTech (cf. p. 13).

11-13 Colloque annuel **PIREN-Seine, qui fête ses 30 ans** (Directeur Nicolas Flipo, Géosciences MINES ParisTech).



13 **Concert de Noël** à l'École, dédié aux bienfaiteurs de la Fondation, dans le cadre du festival *Musique aux Mines*.

19 **1^{er} Data Science Day** à MINES ParisTech : participation de 17 enseignants-chercheurs des 5 départements de recherche de l'École et de 4 invités prestigieux, issus de Stanford, Ensam, Google AI et Inria.

p.8
ENTRETIEN AVEC
YANNICK VIMONT

p.10
PRIX ET RÉCOMPENSES

p.12
ENTREPRENEURIAT ET
RELATIONS ENTRE-
PRISES

p.14
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

EXCELLENCE SCIENTIFIQUE



QUESTIONS À :
YANNICK VIMONT
DIRECTEUR DE LA RECHERCHE

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

Yannick Vimont : MINES ParisTech ambitionne de devenir un leader international dans les domaines de la transition énergétique et des matériaux pour des technologies plus économes et des mathématiques et de l'ingénierie numérique pour la transformation de l'industrie.

9 habilitations à diriger les recherches (HDR) ont été soutenues en 2019. Toutes témoignent de travaux scientifiques de premier plan, mais deux d'entre elles illustrent particulièrement bien les domaines dans lesquels MINES ParisTech souhaite renforcer son positionnement.

« Les procédés thermochimiques exploités dans l'industrie d'aujourd'hui, tous secteurs confondus, sont très largement fondés sur l'utilisation des flammes de combustion. Celles-ci constituent en effet de très bonnes sources volumiques de chaleur à haut niveau de température en phase gaz, relativement simples à produire et à utiliser. Toutefois, lorsque le réseau électrique mondial disposera d'une électricité majoritairement décarbonée, grâce au déploiement généralisé de la production renouvelable, une électrification des procédés thermochimiques industriels s'avérera incontournable dans la perspective d'une transition écologique de l'industrie. Seulement, pour s'affranchir d'une réinvention fondamentale des procédés existants, se pose la question suivante : comment produire par voie électrique des sources de chaleur efficaces aux caractéristiques semblables à celles des flammes de combustion ? » Vandad-Julien Rohani répond à cette question en présentant ses travaux, réalisés au sein du centre Persée MINES ParisTech, sur les plasmas thermiques.

« L'ingénierie des matériaux et des structures a été transformée en profondeur par la généralisation de la simulation numérique. Grâce à l'avancée des outils de calcul scientifique, la rupture des matériaux peut être prédite de manière fiable par des modèles multi-échelles, en conjonction avec des méthodes de résolution numérique haute-performance. Cependant, ces simulations coûteuses restent limitées à l'expérience virtuelle unitaire. Les applications modernes, comme le contrôle en temps réel ou la conception interactive, requièrent des vitesses d'exécution et des niveaux de stabilité des modèles qui restent hors de portée. Le potentiel des simulations mécaniques haute-fidélité ne pourra être réalisé

que par le développement d'une nouvelle génération d'outils numériques chargés de réduire les coûts de calculs afin de permettre l'utilisation de modèles numériques fins dans des applications impliquant des calculs "à-la-volée". » La HDR de Pierre Kerfriden présente quelques contributions de recherche visant à combler ce fossé technologique.

■ QUELS FAITS RETIENDRA-T-ON DE L'ANNÉE 2019 ?

Y.V. : L'un des faits les plus marquants dans le domaine de la recherche est sans conteste l'ERC « jeune chercheur » obtenue par Zaki Leghtas, chercheur au Centre automatique et systèmes. Outre la reconnaissance méritée accordée à ce brillant jeune chercheur, cette distinction confirme le positionnement de MINES ParisTech et de ses partenaires (ENS, Inria) au premier plan dans le domaine des technologies quantiques, qui devraient révolutionner les vitesses de calcul des ordinateurs de demain, ainsi que la sécurité des communications.

Dans le cadre de l'Institut interdisciplinaire d'intelligence artificielle (3IA) PRAIRIE, dont PSL est membre, deux chaires, portées par Chloé-Agathe Azencott et Thomas Walter, enseignants-chercheurs au Centre de Bio-informatique, ont été validées.

MINES ParisTech a inauguré en 2019 la Chaire BIGMECA, avec le soutien de Safran. Prévue pour une durée de 5 ans, la chaire développera des méthodes innovantes, mobilisant des techniques de réduction de modèles et des réseaux de neurones, pour produire des simulations inédites de matériaux.

L'expertise des chercheurs de MINES ParisTech dans la simulation numérique, que ce soit dans les domaines de la mécanique des solides et des fluides, des procédés ou des géosciences, n'est plus à démontrer. MINES ParisTech a, dans ce cadre, organisé la première édition de son « Data Science Day » pour proposer une version transversale et pluridisciplinaire des « data sciences » et de leurs enjeux pour les entreprises. Cette manifestation était structurée autour de quatre conférences plénières données par des personnalités de renommée internationale.

MINES ParisTech a lancé en 2019, en collaboration avec ses partenaires de l'Institut Carnot M.I.N.E.S, un ambitieux programme dans le domaine de l'hydrogène. L'objectif global est d'évaluer comment les interactions entre les divers réseaux énergétiques (gaz, chaleur, électricité, stations GNV), les sources d'hydrogène et de CO₂, les besoins en stockage des gaz et les divers procédés pourraient conduire à des applications de niche ou à grande échelle, compétitives pour le déploiement du Power-to-X. Cette approche globale inclut l'analyse de cycle de vie des procédés et des réseaux, les enjeux sociaux et la feuille de route nécessaire à une filière zéro carbone fossile.

■ QUELS SONT LES GRANDS PROJETS OU GRANDES AMBITIONS POUR 2020 ?

Y.V. : L'Europe s'est fixée l'ambitieux objectif de recycler 50% des plastiques d'ici 2030, et la France ambitionne de recycler 100% des plastiques. MINES ParisTech, en collaboration avec ses partenaires de l'Institut Carnot M.I.N.E.S, a décidé d'accompagner ces ambitions et lancera en 2020 un programme de recherche sur le recyclage des polymères, en se focalisant sur la recyclabilité du PET (constituant principal des bouteilles plastiques), des textiles multicomposants et des biocomposites. La problématique de la recyclabilité sera également abordée d'un point de vue économique et sociétal, dans le cadre d'un axe transversal.

Deux journées industrielles vont être organisées dans le domaine de l'énergie et dans le domaine de la convergence calcul intensif – intelligence artificielle.

Deux nouvelles chaires dans le domaine de l'exploitation des ressources minérales seront également lancées en 2020.

FOCUS

NOUVELLES HDR EN 2019

Vladimir Esin (CMAT MINES ParisTech) obtient son Habilitation à diriger des recherches (HDR) sur le sujet : « *Diffusion et phénomènes contrôlés par diffusion dans les alliages métalliques. Influence sur les propriétés* ».

Alexandrine Gesret (Géosciences MINES ParisTech), sur le sujet : « *Imagerie sismique haute résolution et quantification des incertitudes : de la zone de subduction au réservoir* ».

Pierre Kerfriden (CMAT MINES ParisTech), sur le sujet : « *Towards the next generation of high-fidelity simulators for online computing: adaptive modelling through the scales* ».

Brice Laurent (CSI MINES ParisTech), sur le sujet : « *European Objects. The troubled dreams of harmonization* ».

Yazid Madi (CMAT MINES ParisTech), sur le sujet : « *Endommagement et rupture des aciers : de la mini-épreuve à la structure* ».

Vandad Rohani (Persée MINES ParisTech), sur le sujet : « *Études des sources plasma et de leur utilisation pour la conversion thermo-chimique des hydrocarbures par voie électrique* ».

Ahmed Rouabhi (Géosciences MINES ParisTech), sur le sujet : « *Problèmes de thermodynamique et de thermo-hydro-mécanique associés à l'exploitation du sous-sol* ».

Sébastien Travadel (CRC MINES ParisTech), sur le sujet « *Les méthodes et les modèles de l'ingénierie à l'épreuve du danger* ».

François Willot (CMM MINES ParisTech), sur le sujet de « *l'homogénéisation en mécanique non linéaire* ».

PRIX ET RÉCOMPENSES 2019

MÉDAILLES

La **Médaille Bastien & Guillet**, décernée, tous les deux ans, par la SF2M à une personnalité qui s'est particulièrement illustrée au service de la science des matériaux, est attribuée à **Anne-Françoise Gourgues-Lorenzon** (CMAT MINES ParisTech).



PRIX SCIENTIFIQUES

Une bourse ERC (*European Research Council*) jeune chercheur est accordée à **Zaki Leghtas**, chargé de recherche au Cas MINES ParisTech, qui poursuit des travaux sur les états quantiques (cf. p.28).

Le **1^{er} prix Atos - Joseph Fourier**, catégorie simulation numérique, calcul intensif est attribué à **Élie Hachem** et son équipe (Cemef MINES ParisTech).



Le **prix de thèse Paul Germain**, de l'AFM, est attribué à **Mehdi Khalloufi** (Cemef MINES ParisTech).

Le **prix Jean Bourgeois 2019** est décerné à **Tom Petit** (CMAT MINES ParisTech), également lauréat du *Zwick Roell Science Award 2018* (remis le 14 juin 2019).

Le **2^e Prix Bodycote SF2M** récompense **Hélène Godin** (CMAT MINES ParisTech).

Le **1^{er} prix de thèse TSG 2019** (ex-aequo) revient à **Carlos Adrian Correa Florez** (Persée MINES ParisTech).

Le **prix du Grand Paris 2019** est décerné au projet de recherche EcoCirc (**Franck Aggeri** et **Joël Nstondé** - CGS MINES ParisTech) conduit avec le Matériaupole.

Le prix de **Droit, économie et sociologie du transport aérien et spatial** est remis à **Mario Le Glatin**, pour sa thèse, « *Innovate to decide* », effectuée au CGS MINES ParisTech.

PRIX PUBLICATIONS

Le **prix du livre RH**, créé par Syntec Recrutement avec *Le Monde* et *Sciences Po*, est remis à **Blanche Segrestin** et **Kevin Levillain**, co auteurs (dir.) de *La mission de l'entreprise responsable, principes et normes de gestion*, publié aux Presses des Mines.

Meilleur ouvrage de management 2019 décerné par la FNEGE (Fondation nationale pour l'enseignement de la gestion des entreprises) à *Un récit de Fukushima*, publié aux Presses Universitaires de France (PUF), par **Franck Guarnieri** et **Sébastien Travadel** (CRC MINES ParisTech).

Le **Prix du meilleur article** est attribué à **Rachelle Belinga**, doctorante au CGS MINES ParisTech, par le SIG (*Standing Interest Group*) *Business for Society* de l'*European Academy of Management* (EURAM), la plus grande conférence européenne en management.

Le **First Price Best Poster Award**, revient à **Séverine A.E. Boyer** et **Alain Burr**, chercheurs au Cemef MINES ParisTech, lors de la *PPS Europe-Africa 2019 Regional Conference*, à Prétoria (Afrique du sud).

PRIX ÉTUDIANTS

Le **prix Roger Cadiergues** récompense **Aurore Wurtz** (doctorante au CES MINES ParisTech) et **Loan Hemery** (diplômé du cycle Ingénieur en énergétique en apprentissage) pour leurs travaux de fin d'études.

Le **1^{er} prix CARLA Autonomous Driving Challenge** est attribué à **Marin Toromanoff**, doctorant au Caor MINES ParisTech (cf. p. 29).

Le **prix SF2M** de la **Meilleure communication** orale, est remis à **Julien Fausty**, post-doctorant au Cemef MINES ParisTech.

Manon Isard, doctorante (Cemef MINES ParisTech), **prix Ken Ludema Best paper**, décerné lors de la *2nd International Conf. on Wear, en Floride*, en avril 2019.

Qi Huang, doctorante (CMAT MINES ParisTech), est l'une des trois personnes lauréates d'une bourse pour participer aux Journées annuelles du groupe de travail international sur la fissuration assistée par l'environnement (ICG-EAC), qui se sont tenues à Taïwan en mai 2019.

Pour la 4^e année consécutive, le **1^{er} prix du concours CNF Cigre** sur les réseaux intelligents distingue deux élèves du mastère OSE, **Hamza Mraïhi** et **Aboubakr Machrafi**, pour leur article sur « les prévisions des pertes sur le réseau de transport d'électricité ».

Deux jeunes diplômés de l'École, lauréats des **Trophées performance Veolia** : **Mélina Nicolas** (étudiante du Master Énergie PSL) et **Mohamed Bahlali** (ingénieur civil).

Prix Coup de cœur du jury du concours **Women Energy in Transition**, créé par *Dalkia*, pour **Lola Péladan**, élève du cycle ingénieur civil.

La **3^e édition du Prix Pierre Laffitte** récompense deux doctorants du Cemef MINES ParisTech : **Emilie Forestier** (2^e prix) et **Luiz Pereira** (3^e prix).





Le Musée de minéralogie de MINES ParisTech a reçu le label Unesco « Année internationale du Tableau périodique des éléments ».

ENTREPRISES

Le **Grand prix du MIT** (*Massachusetts Institute of Technology*) est attribué à **Acoustic Wells**, start-up co-fondée par **Charles-Henri Clerget**, ingénieur et docteur de l'École (CAS MINES ParisTech).



DIVERS

Margaret Kyle (Cerna MINES ParisTech) est classée dans le **Top 40 des femmes économistes d'Europe, d'Amérique et d'Afrique** par *@W_AT_World*, pour ses travaux en économie de la santé et de la propriété intellectuelle.

Le **Prix Maurice Allais de Science économique** a été décerné, le 17 mai 2019 à MINES ParisTech, par la Fondation Maurice Allais, sous égide de la Fondation ParisTech. Deux articles sont primés. L'un propose une formule permettant d'évaluer le ratio minimum dette/PIB soutenable par un pays. L'autre montre comment le « paradoxe d'Allais », conceptualisé dans les années 1950, peut expliquer le comportement des individus, notamment sur les marchés financiers.

Le **projet européen PEGASUS** est qualifié de **Best Success Story 2019** aux **FCH JU Awards**. Ce projet est piloté, pour Armines, par **Sandrine Berthon-Fabry** (Persée MINES ParisTech).

Les **Medea Awards** décernent une médaille au site pédagogique du **cours Couleur, Arts, Industrie**, réalisé par la cellule TICE de MINES ParisTech.

Participation de **Frédéric Kletz** (CGS MINES ParisTech) à la préparation d'un amendement de la loi Santé : Ma santé 2022.

Une **cartographie du Cemef MINES ParisTech** est choisie pour la couverture du *Journal of Microscopy* (février 2019).



Les travaux de thèse conduits par **Fabien Labbé** sous la direction de Sandrine Berthon-Fabry (Persée MINES ParisTech) font la couverture du numéro de mars d'*Electrocatalysis*, Springer, 2019, 10 (2), pp.156-172.

NOMINATIONS DANS DIVERSES INSTANCES SCIENTIFIQUES

Andréa Michiorri (Persée MINES ParisTech), élu membre du CA de l'Association européenne des Centres de recherche sur les énergies renouvelables (EUREC) pour une durée de 3 ans.

Robin Girard (Persée MINES ParisTech), élu membre du comité de pilotage de l'Office franco-allemand pour la Transition énergétique.

Nadia Maïzi (CMA MINES ParisTech), nommée *Lead Author* au sein du 3^e groupe de travail (WG III) pour la préparation du 6^e rapport du GIEC.

Damien Goetz (Géosciences MINES ParisTech), président du comité d'évaluation HCERES de l'École centrale de Lille.

Blanche Segrestin (CGS MINES ParisTech), nommée *Jubilee Professor* à Chalmers University (Suède).

Participation de **Philippe Lefèbvre** (CGS MINES ParisTech) au Conseil scientifique de l'évaluation du Programme investissements d'avenir, auprès du SGPI (Secrétariat général pour l'investissement, ex CGI, en charge du PIA).

Patrick Navard (Cemef MINES ParisTech), nommé « Fellow » de la « *Cellulose and Renewable Materials* » division American Chemical Society (1^{er} Français à obtenir cette nomination).

Elie Hachem (Cemef MINES ParisTech), élu au conseil d'administration et conseil académique pour représenter MINES ParisTech à l'Université Côte d'Azur. Il devient par ailleurs membre du comité scientifique de l'*International Meshing Roundtable*.

Tatiana Budtova (Cemef MINES ParisTech), élue membre du bureau de « *Cellulose and Renewable Materials* » division American Chemical Society.

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.



Les conférences organisées dans le cadre de l'option Innovation et entrepreneuriat sont ouvertes aux étudiants et personnels de l'École et de PSL.

SOUS LE SIGNE DE L'ENTRENEURSHIP EDUCATION

La réforme du cycle Ingénieur civil a pris en compte les travaux les plus récents de l'*Entrepreneurship Education*. Elle fait entrer l'entrepreneuriat, dès les enseignements de 1^{re} année à l'École, sous la forme d'une semaine bloquée pour toute la promotion. En 2^e année, elle institue une formation plus approfondie, pour celles et ceux qui le souhaitent, au cours un trimestre « Entrepreneuriat », pour le montage d'un projet par les élèves.

Dans le cadre des « Mercredis Pollen », le pôle entrepreneuriat de MINES ParisTech a proposé un cycle de conférences consacré à « l'entrepreneuriat à impact », avec notamment une séance où deux anciennes

élèves, Khadidiatou Diop Nakoulima (P06) et Lauriane Le Flour (P12), ont présenté *Nest*, leur société qui propose des services médicaux de qualité pour les femmes enceintes, en Afrique de l'Ouest. Plusieurs interviews du responsable de Pollen ont été publiées dans la presse (notamment dans *Le Monde* et *Le Figaro*), témoignant de la large diffusion des travaux de recherche de l'École sur la création d'entreprises par les étudiants et les jeunes ingénieurs.

Contact :
Philippe Mustar

LES STAGES EN ENTREPRISE

La Direction de l'Enseignement met en œuvre les relations entreprises au profit de tous les étudiants des différents cycles. Les stages effectués par les étudiants témoignent de l'excellence de ces relations.

Les stages

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

En 2019, 830 stages ont été effectués par les étudiants de l'École (cycle Ingénieur civil, Isupfere et Mastères spécialisés) :

- 34 % de stages à l'étranger, pour une durée moyenne de plus de 13 semaines ;
- 36 % dans des grands groupes ;
- 21 % dans des entreprises de taille intermédiaire (ETI) ;
- 28 % dans des PME ;
- 8 % dans des institutions nationales ou internationales ;
- 7 % dans des laboratoires de recherche en France ou à l'étranger.

Les offres de stages

Notre plateforme de stages et d'emploi en ligne propose :

- plus de 200 offres nouvelles chaque semaine, en France et à l'étranger ;
- des offres accessibles, via l'intranet, à tous les étudiants et enseignants ;
- des informations et invitations aux événements entreprises, personnalisées en fonction des critères des étudiants et disponibles aussi sur smartphone.

<http://www.mines-paristech.fr/Entreprise/Recrutez-nos-etudiants/Proposez-un-stage-ou-un-emploi/>

Contact :
Johanna Ducret



En 2019, pour la 1^{re} fois, les élèves ont organisé un "pré-Trium" pour inviter chacun à tirer parti, au mieux, de ce forum étudiants/entreprises.

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, telle qu'elle est perçue par les entreprises.

La loi pour la Liberté de choisir son avenir professionnel (LCAP) change les modes de calcul de la taxe. MINES ParisTech, au-delà de sa formation en apprentissage ISUPFERE, s'inscrit dans les 13% de la valeur globale, dits « libératoires ». Cette année, les entreprises peuvent, à nouveau, effectuer leurs versements en direct à l'École ; nous nous réjouissons de ce lien direct restauré, gage de relations partenariales encore plus étroites.

<http://www.mines-paristech.fr/Entreprise/Soutenez-MINES-ParisTech/Taxe-d-apprentissage/>



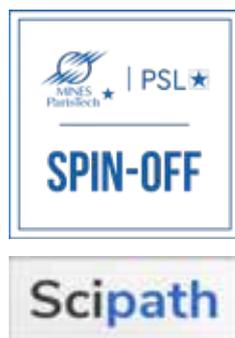
LA RECHERCHE ORIENTÉE POUR RELEVER LES DÉFIS INDUSTRIELS ET SCIENTIFIQUES

Les questions des industriels permettent d'aborder des territoires nouveaux et originaux ; ces questions pratiques donnent une 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



START-UP ISSUES DE LA RECHERCHE

La start-up SCIPATH, issue du Cemef, est la lauréate du concours MINES ParisTech Spin-off.

En 2019, deux nouvelles jeunes pousses ont été créées : ARXITECH, issue du centre de Géosciences MINES ParisTech, et Sublime Energie, issue du Centre efficacité énergétique des systèmes (CES MINES ParisTech).

TROIS NOUVELLES CHAIRES EN 2019

MINES ParisTech et Safran lancent la Chaire « BigMéca » consacrée à la mécanique avancée des matériaux de structure par apprentissage automatique.

Prévue pour une durée de 5 ans et dotée d'un budget de 800 000 €, la chaire BigMéca développera des méthodes innovantes, mobilisant des techniques de réduction de modèles et des

réseaux de neurones, pour produire des simulations inédites de matériaux. Elle a également pour vocation d'attirer de nouveaux talents au service de la mécanique numérique et calcul intensif pour les sciences de l'ingénieur.

Contacts:
Henry Proudhon et
David Ryckelynck



Au terme d'un an d'évaluation, les chaires PRAIRIE (*PaRis Artificial Intelligence Research InstitutE*), portées par Chloé-Agathe Azencott et Thomas Walter, sont approuvées. Ces deux enseignants-chercheurs du Centre de bio-informatique (CBIO MINES ParisTech) voient la qualité scientifique de leurs projets reconnue. Ces deux nouvelles chaires dans le domaine Intelligence artificielle et santé témoignent de la place de plus en plus importante prise par l'intelligence artificielle dans les recherches menées à MINES ParisTech.

Contacts:
Chloé-Agathe Azencott et
Thomas Walter



MINES PARISTECH RESEARCH DAY

Le 2 juillet 2019 a eu lieu la 3^e édition du MINES ParisTech Research Day, qui a rassemblé plus de 330 participants. Des projets de recherche autour des cinq défis industriels et scientifique suivants ont été présentés au public :

- transition énergétique ;
- gestion responsable des ressources ;
- mobilité du futur ;
- sciences des données et intelligence artificielle ;
- industrie du futur.



<https://bit.ly/2Z9McJ5>

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.



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 (ressources en hydrocarbures, minérales, géothermie), l'utilisation de l'espace souterrain (stockage géologique des déchets radioactifs, stockage géologique du CO₂, stockage d'énergie sous forme d'hydrocarbures ou de gaz de synthèse, infrastructures souterraines) et enfin la ressource en eau et 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 les 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

SPÉCIALITÉ 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 : 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

CHAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

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

- Responsable : Vincent Lagneau

■ 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.

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 2019 ?

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, 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 dans les territoires et la distribution d'eau potable.

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 2020 ?

V.L. : Le Centre de géosciences continuera sa démarche de construction et de consolidation de codes de calcul scientifiques 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 d'aménagement et développement territorial innovant, de 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

STOCKAGE MASSIF D'ÉNERGIE DANS LE SOUS-SOL

La transition énergétique repose sur la production d'énergies décarbonées dont la plupart ont un caractère intermittent. Le stockage de grandes quantités d'énergie dans le sous-sol offre une solution viable en permettant de réguler le flux entre l'offre et la demande. L'industrie du stockage souterrain, bien développée en France et dans le monde en matière d'hydrocarbures, n'a pas encore abouti à des réalisations commerciales significatives dans le domaine du stockage géologique d'énergie sous d'autres formes de vecteurs énergétiques fluides.

Ce projet a pour objectif le développement de modèles de simulation du fonctionnement d'un système de stockage de fluides énergétiques en cavités souterraines, en vue d'étudier la faisabilité d'un tel système complexe, d'optimiser ses rendements et de prédire ses impacts sur l'environnement.

Un projet multidisciplinaire

Le projet s'attaque à une problématique multidisciplinaire couvrant un large spectre de compétences. Sa réussite repose sur la capacité à élaborer des modèles numériques multi-échelles et multi-physiques, capables de décrire les comportements géochimique et thermo-hydro-mécanique d'un stockage géologique de divers fluides énergétiques de synthèse (hydrogène, méthane-oxygène-CO₂/méthanation). Dans une optique de modélisation globale intégrant l'ensemble des éléments du stockage, une modélisation dynamique devrait être effectuée pour établir les liens entre les paramètres des installations de surface et ceux du stockage souterrain. Ce projet est conduit en étroite collaboration avec des partenaires académiques et industriels du secteur de l'énergie

(Air Liquide, Storengy/Engie, Geostock/Entropose, Total...), dans le cadre de financement industriel direct et du Programme d'investissement d'avenir (PIA).

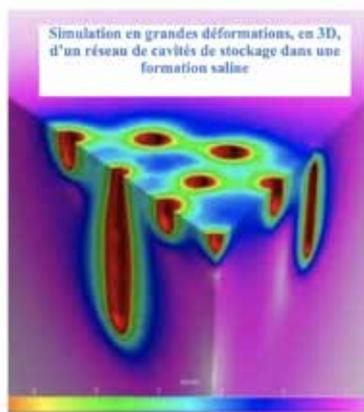
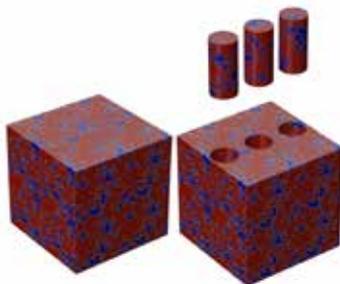
Réalisations et perspectives

L'objectif est le développement d'une plateforme multi-physique et multi-dimensionnelle de simulation de l'ensemble de la chaîne de stockage, allant de la création d'un réseau de cavités souterraines (par lessivage, dans le cas des cavités salines, ou par construction, dans le cas de cavités minées/revêtues), jusqu'à son abandon, en passant par la phase d'exploitation. Le logiciel Demether, développé par le Centre de Géosciences, permet la résolution couplée des problèmes thermodynamiques liés au stockage de gaz naturel en cavités souterraines. Pour répondre aux nouvelles exigences liées à la transition énergétique, ce logiciel est continuellement étendu à la prise en compte de nouveaux fluides énergétiques et à de nouveaux types de sollicitation (cycles rapides d'injection-soutirage, conditions de sollicitations inhabituelles pour le domaine de la géomécanique : forte pression, forts gradients de température, prise en compte d'équations d'état spécifiques pour le comportement d'un gaz réel, réactivités des gaz aux milieux géologiques, comportement thermo-hydro-mécanique de la cavité en présence de différents fluides...). De même, le dimensionnement de ces cavités nous amène à nous interroger davantage quant au rôle des hétérogénéités des roches hôtes sur leur comportement macroscopique et, ainsi, sur la stabilité à long terme de ces grandes structures souterraines. Il est primordial de disposer de données expérimentales et de bien maîtriser les aspects thermodynamiques et diagrammes de phases. Pour cela, la collaboration avec le Centre thermodynamique des procédés (CTP) de MINES ParisTech est un atout majeur. En effet, le CTP apporte ses compétences expérimentales et théoriques en matière de caractérisation des propriétés thermo-physiques de corps purs et de mélanges dont, notamment, la solubilité des gaz dans les saumures.

Les modèles numériques de simulation thermo-hydro-mécanique de cavité souterraine, du Centre de géosciences, et les dispositifs expérimentaux de caractérisation des fluides, du CTP, ont été regroupés dans la plateforme technologique SMES (Carnot Extra&co) pour l'étude de faisabilité et pour l'optimisation d'un système de stockage de fluides énergétiques dans le sous-sol.

Contact:
Hedi Sellami

Prélèvement « numérique » d'échantillons de roche dans un bloc de sel contenant des insolubles répartis aléatoirement.



PROJET CARNOT M.I.N.E.S « TRAVERSIÈRE »

FLUX ET TEMPS DE TRANSFERT DE POLLUANTS DU BASSIN VERSANT À LA RIVIÈRE

Le projet s'inscrit dans une approche intégratrice, allant de l'analyse quantitative jusqu'aux modèles. Il est appliqué à la compréhension des flux et des temps de transfert des masses d'eau dans un bassin versant et à la quantification spatio-temporelle des flux de polluants diffus transportés. Les bassins versants de l'Orgeval (Île-de-France) et de la Canche (Nord-Pas-de-Calais) ont été choisis pour ce projet. Les équipes de Géosciences MINES ParisTech et de l'IMT Lille-Douai se sont intéressées à la caractérisation des hétérogénéités structurelles de l'interface nappe-rivière en utilisant, par inversion numérique, la température comme traceur des écoulements. Les résultats aboutissent à l'amélioration de la compréhension du cycle de l'eau à l'aide d'une approche « hydro-isotopique », à l'application des connaissances des isotopes stables au bassin versant de la Canche en termes d'échanges nappe-rivière et à la mise en relation des analyses de polluants agricoles. Sept sujets ont fait l'objet d'analyses détaillées :

- le traçage des sources d'eau (ruissèlement/pluie, rivière, nappe) ;
- le temps de résidence des eaux dans le système ;

- l'intégration dans le modèle numérique existant du bassin versant de l'Orgeval et de la zone d'interactions nappe-rivière ;
- l'élaboration d'un modèle hydrologique du bassin versant de la Canche par déconvolution d'hydrogramme (en utilisant le débit et les isotopes) ;
- le monitoring spatio-temporel des pesticides dissous du bassin versant de la Canche ;
- la comparaison des flux de pesticides en capteurs passifs et en prélèvements ponctuels ;
- une analyse géostatistique des débits d'eau dans les deux bassins versants étudiés.

L'analyse géostatistique des concentrations, pour en caractériser la variabilité spatiale et temporelle, pose la question de la précision des estimations, donc de l'adaptation des réseaux de mesure à l'échelle des bassins versants étudiés. Cette étude a ainsi abouti au développement de systèmes de capteurs passifs adaptés au monitoring des flux de polluants diffus présents dans la phase dissoute.

Les méthodologies développées par ce projet sont intéressantes pour l'ensemble des organismes gestionnaires et des entreprises du monde de

l'eau, notamment les fournisseurs d'eau potable. Les gestionnaires de l'eau sont très demandeurs de ces développements, socles de base pour la quantification des transferts de polluants, diffus ou non, vers les rivières. Nous sommes maintenant en capacité de leur proposer des études intégrées sur des portions de territoire : dimensionnement, installation de réseaux de capteurs, analyse et intégration de données, construction de modèles de transfert performants avec une incertitude liée aux hétérogénéités bien inférieure. Les résultats, publiés dans plusieurs revues internationales, sont actuellement valorisés dans d'autres projets avec des partenaires du secteur para-public.



Schéma des écoulements pris en compte - précipitations, ruissèlement, eaux superficielles et souterraines - associés aux pratiques agricoles de culture du maïs.

PROJET KRI-TERRES

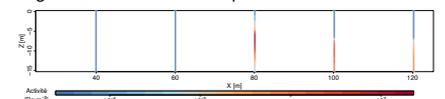
COMBINER ÉTROITEMENT GÉOSTATISTIQUE ET MODÉLISATION D'ÉCOULEMENT

Le démantèlement d'installations nucléaires et l'assainissement des sites imposent de caractériser les volumes de terres potentiellement contaminés et leur radioactivité. Il s'agit d'améliorer la quantification de la radioactivité dans les sols et les eaux souterraines, en tenant compte d'informations *a priori* sur les principaux processus physiques régissant l'infiltration et la migration des radionucléides dans les sols. Les modèles numériques d'écoulement et de transport permettent de représenter des phénomènes complexes (développement d'un panache de pollution dans les sols et la nappe), mais doivent ensuite être recalés aux données de concentration mesurées dans des forages. Par ailleurs, les estimateurs géostatistiques (le krigeage) assurent le calage des cartes de concentrations à ces données, mais avec des résultats pas toujours (physiquement) réalistes lorsque les données sont peu nombreuses. La méthodologie développée consiste à combiner

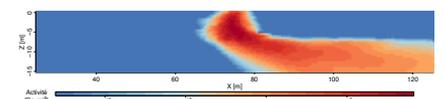
ces deux modélisations, en remplaçant la covariance spatiale, usuellement utilisée pour le krigeage, par sa version non-stationnaire, calculée sur les résultats de nombreuses simulations d'écoulement et de transport. La covariance spatiale numérique ainsi « apprise » synthétise l'influence des conditions d'écoulement sur les concentrations. Cette « randomisation » permet également d'inclure l'incertitude sur différents paramètres (distance de corrélation des perméabilités, localisation d'un déversement accidentel d'un contaminant) dans le modèle géostatistique. Cette incertitude se reflète alors sur les cartes de précision de l'estimation.

Les premiers tests, effectués sur des modèles synthétiques bidimensionnels en contexte spatio-temporel, ont validé la démarche et sa complémentarité avec une méthode récente de krigeage utilisant comme « dérive externe » les résultats des modèles numériques. L'application à la caractérisation d'un

panache de contamination sur un profil situé à l'aval d'une tranchée de stockage de déchets radioactifs à proximité de la centrale de Tchernobyl a permis de préciser les conditions de validité de chacune de ces méthodes d'estimation. Les tests à trois dimensions sont en cours. La méthodologie est généralisable à tout phénomène décrit par un code numérique et se révèle particulièrement intéressante lorsque les données de la grandeur à estimer sont peu nombreuses.



Données de forage, concentrations en radionucléide (Bq/L) dans l'espace $x(m)$ et $Z(m)$ à un instant donné.



Reconstitution de cette concentration (Bq/l) dans l'espace $x(m)$ et $Z(m)$ au même instant.

RENFORCER LA DIMENSION ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES FORMATIONS L'ISIGE MINES PARISTECH S'ASSOCIE AVEC ECOSYSTEM

Depuis 2018, le mastère spécialisé Ige s'est enrichi d'un partenariat avec *Ecosystem*, afin d'accentuer la dimension « économie circulaire » de la formation. Objectif : se positionner encore plus près des attentes des professionnels de l'environnement et du développement durable. *Ecosystem* apporte son expérience de 15 ans consacrés à la création et au pilotage d'un dispositif opérationnel, qui fédère tous les acteurs de la filière des appareils électriques et

électroniques usagés, pour dépolluer et recycler ces équipements, tout en respectant les objectifs fixés par les différentes réglementations. L'éco-organisme participe au financement de la formation et propose des cas d'études ancrés dans la réalité du terrain. En mars 2019, lors du voyage d'études à Dakar, les étudiants ont pu observer et analyser la gestion des déchets urbains de la ville et de sa périphérie, avec un focus sur les déchets plastiques et les DEEE (déchets

d'équipements électriques et électroniques). Ils ont notamment étudié le devenir des dispositifs médicaux de 2^e main, récupérés et contrôlés en France par *Horizon Sahel*, et envoyés au Sénégal, et permis d'identifier les acteurs pertinents pour mettre en place des filières de maintenance et de fin de vie fiables et conformes aux exigences sanitaires, un enjeu important pour la comptabilisation de la performance de sa filière de collecte par *Ecosystem*.

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, sciences de l'information et environnement.

■ CENTRE PROCÉDÉS, ÉNERGIES RENOUVELABLES ET SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

(Persée 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 : Laurent Fulcheri (Persée 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 (Persée MINES ParisTech)

■ MS_EnR : Énergies renouvelables

- Responsable : Andrea Michiorri (Persée 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 Peupertier (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 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 Ecole tant au niveau des cycles ingénieurs qu'au niveau des masters, formations spécialisées et du doctorat.

■ QUELLES ONT ÉTÉ LES RÉALISATIONS ET/OU LES ÉVOLUTIONS EN 2019 ?

P.R. : 2019 a permis la signature d'un accord en vue de la création d'une Plateforme technologique PSL pour une chimie verte et durable en flux continu, dédiée au secteur de la chimie fine, pharmaceutique et cosmétique (avec Chimie ParisTech et l'ESPCI Paris). C'est aussi l'année de validation expérimentale en laboratoire de la méthode de conception d'ambiance de cabine d'hélicoptère développée avec Airbus (projet phare), projet hors norme tant par sa taille que par son ambition. 2019 confirme également l'implication croissante du DEP sur des questions clef de la transition énergétique ; les connaissances et modélisations du DEP sur les systèmes énergétiques sont essentielles pour éclairer les choix prospectifs et leurs impacts environnementaux sur l'offre, sur la demande et sur l'intégration des énergies renouvelables et de récupération sur les réseaux. Sur ce thème, outre les projets mis en exergue ci-après sur l'analyse de cycle de vie et l'hydrogène, on peut citer le projet européen Smart4RES portant sur l'intégration optimale des énergies renouvelables sur les marchés et les réseaux, ainsi que les recherches menées depuis une dizaine d'année sur l'optimisation de la conception et du pilotage des réseaux de chaleur et de froid qui ont été consacrées par l'accueil d'une école d'été européenne.

■ QUELS SONT LES PROJETS/ AMBITIONS POUR 2020 ?

P.R. : Le DEP a contribué à faire évoluer l'offre de première année en énergétique dans le cadre de la refonte du cycle Ingénieur civil, tant pour les sciences de base pour l'énergie (mécanique des fluides, thermique et thermodynamique) que sur les aspects énergie et changement climatique. La création de projets recherche en deuxième année du cycle Ingénieur civil est une opportunité pour que les élèves ingénieurs puissent participer aux recherches de nos centres. Des projets de recherche pour les élèves sur l'efficacité énergétique, la transition énergétique, l'optimisation des procédés et les *data sciences* pour les énergies renouvelables sont à l'étude. Ces projets participeront au renforcement de l'offre autour de la transition énergétique, un des axes stratégiques de développement de l'École.

PROJETS PHARE

UN PARTENARIAT AVEC AIRBUS HÉLIPOPTÈRE

GESTION D'AMBIANCE, QUALITÉ DE L'AIR ET CONFORT THERMIQUE DES HÉLIPOPTÈRES ÉLECTRIFIÉS

La réduction de l'impact environnemental du secteur du transport aérien représente un enjeu majeur de la transition énergétique et environnementale. L'électrification constitue la voie la plus prometteuse pour atteindre cet objectif. Cette électrification nécessite de concevoir entièrement la chaîne énergétique à bord des aéronefs, ainsi que des nouvelles générations de technologies de management thermique. Des solutions innovantes doivent être apportées à de nouveaux défis : la gestion thermique des nouveaux composants électriques, celle des ambiances et le traitement de l'air.

Dans le cadre d'un partenariat avec Airbus Hélicoptère, le CES MINES ParisTech a développé une démarche de conception assistée par des outils d'optimisation d'architectures énergétiques, afin de définir automatiquement les meilleures solutions de gestion d'ambiance. Le système permet à la fois d'assurer une qualité de l'air optimale et une gestion thermique personnalisée pour les nouvelles générations d'hélicoptères électrifiés. Ce système est innovant grâce à son architecture, en rupture par rapport aux systèmes habituels de gestion d'ambiance dans les hélicoptères. La solution mise au point se fonde sur l'utilisation de fluides à haute capacité calorifique permettant d'opérer dans différents régimes extrêmes de températures externes.

Conjuguer confort des passagers et réduction des consommations énergétiques

Un premier travail d'analyse théorique a permis de développer une méthode de génération d'architectures énergétiques sous contraintes, utilisée pour définir la meilleure architecture du système.

Le projet a ensuite consisté à réaliser un prototype et à le caractériser expérimentalement. Pour ce faire, une chambre climatique, associée à une centrale de traitement d'air, ainsi qu'un simulateur de turboréacteur hybride, ont été développés. Une cabine, représentative d'une cabine d'hélicoptère, a également été mise au point. Ceci a permis de caractériser le système de gestion d'ambiance et de valider les principes innovants ainsi que les outils de modélisation systémiques développés. La majorité des composants thermiques et d'écoulement ont été fabriqués par impression 3D, afin de faciliter le prototypage rapide. Des pièces testées par impression 3D, comme les échangeurs de chaleur, seront utilisées dans la solution industrielle développée par Airbus, car leur faible masse constitue un avantage et permet un allègement du système.

La phase deux a permis de mettre au point une méthode d'individualisation de la gestion de la qualité de l'air et du contrôle du confort thermique. Une logique de contrôle avancée a également été mise au point. Les résultats montrent que le système est capable d'assurer les besoins en confort des passagers de façon individuelle, tout en permettant une réduction des consommations énergétiques.

Une troisième étape sera prochainement franchie. Il s'agira de tester le système sur un hélicoptère de démonstration.

Le travail, débuté dans le cadre d'une thèse de doctorat sur les méthodes numériques de génération d'architectures et leur optimisation, a débouché sur une collaboration avec Airbus, dans le cadre d'un post-doctorat de trois ans. Les travaux devraient se poursuivre afin de développer une nouvelle génération de micro-compresseur à très haute vitesse permettant de réduire davantage la masse du système, tout en améliorant son efficacité.

Il est également envisagé d'associer une modélisation du confort à la modélisation thermique dynamique mise en place et le développement d'un modèle réduit de type réseau de neurones, afin de l'intégrer dans les systèmes de pilotage prédictif de ce système.

Contact :
Maroun Nemer



Système de gestion d'ambiance pour hélicoptère électrifié.

ANALYSE DE CYCLE DE VIE

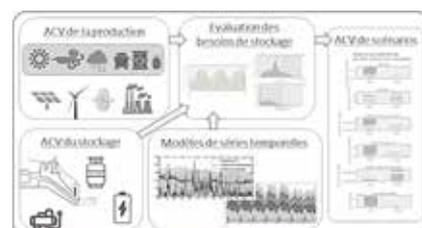
ÉVALUER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES

L'évaluation des impacts environnementaux des scénarios énergétiques à l'aide de l'Analyse de cycle de vie (ACV) se fonde sur des valeurs annuelles moyennes de production et de consommation et des inventaires de cycle de vie génériques. L'approche utilisée considère le système étudié comme statique et ignore le plus souvent les impacts associés au stockage.

Comme la production d'énergie renouvelable est dépendante de la météorologie, des systèmes de stockage d'énergie peuvent devenir nécessaires pour assurer l'équilibre entre la production et la consommation, notamment lorsque les taux de pénétration d'énergies renouvelables deviennent importants. Dans un premier temps, des modèles paramétrés d'inventaires de cycle de vie ont été développés pour chaque filière de production et

de stockage d'énergie. Ils permettent de tenir compte de la variabilité technologique, spatiale et temporelle de la performance environnementale de ces systèmes, qui peut être importante. Dans un second temps, une approche reposant sur le développement et le couplage de modèles paramétrés de séries temporelles de production et de consommation a été mise au point. Elle permet d'estimer les besoins de stockage induits par la variabilité de la production et aussi de la consommation. La méthode dynamique et paramétrique d'évaluation d'impacts environnementaux par Analyse de cycle de vie (ACV) développée a été appliquée à des scénarios d'autoconsommation, puis au territoire insulaire de La Réunion. Ces travaux démontrent que, même en tenant compte des besoins de stockage induits par la variabilité

de la production, les énergies renouvelables présentent, sur leur cycle de vie, une empreinte environnementale qui reste nettement inférieure aux alternatives fossiles qu'elles cherchent à substituer. Cette nouvelle approche a été initiée avec les travaux de thèse de Romain Besseau, soutenue en décembre 2019.



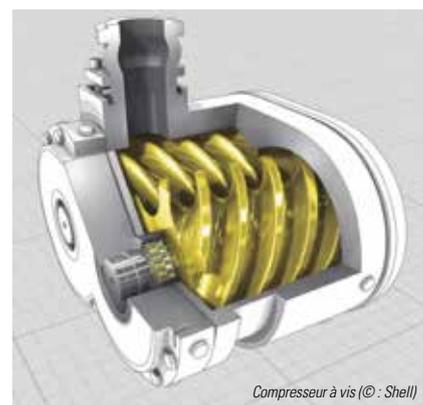
Développement d'une méthode dynamique d'ACV de scénarios énergétiques.

DES DIAGRAMMES DE DANIEL POUR DES APPLICATIONS À HAUTE TEMPÉRATURE

Dans un cycle de pompe à chaleur, la sélection d'une huile de lubrification est primordiale. Elle interagit avec le fluide frigorigène pour former un mélange dont les propriétés thermophysiques doivent être connues. La viscosité cinématique est la propriété indicatrice de la lubrification des pièces mécaniques du compresseur. Elle chute avec l'augmentation de la température et avec l'augmentation de la concentration en fluide frigorigène, pouvant entraîner une mauvaise lubrification et, donc, une usure prématurée du compresseur. Les diagrammes de Daniel sont les outils méthodologiques privilégiés pour la sélection de l'huile de lubrification. Ils réunissent les informations sur la

solubilité du fluide frigorigène dans l'huile et sur la viscosité cinématique du mélange.

Le CTP, en partenariat avec EDF, a développé un dispositif expérimental permettant de mesurer la solubilité d'un fluide frigorigène dans l'huile, tout en mesurant la viscosité cinématique de la phase liquide. Deux modèles, l'un pour les équilibres de phases et l'autre pour la viscosité cinématique, sont ajustés sur les données obtenues. L'obtention de diagrammes de Daniel à différentes températures est alors plus aisée, ainsi que la sélection d'une huile appropriée aux conditions de fonctionnement du compresseur.



Compresseur à vis (© : Shell)

FILIÈRE HYDROGÈNE - ÉNERGIE LE PROJET HYTREND

Le projet Carnot fédérateur HyTrend, coordonné par le centre Persée MINES ParisTech, a démarré en septembre 2019. Projet multidisciplinaire au service de la filière H₂ et des acteurs industriels du domaine, il s'inscrit dans un cycle Power-to-X, qui va de la production d'hydrogène renouvelable (issu de l'eau, de la biomasse ou de biogaz) au captage du dioxyde de carbone (CO₂) en sortie de chaudière, en passant par la production de chaleur par combustion de méthane, la séparation et le stockage des gaz produits (H₂, CH₄, O₂, CO₂) et/ou leur injection dans les réseaux appropriés, voire leur utilisation pour la mobilité.

L'objectif global est d'évaluer comment les interactions entre les divers réseaux énergétiques (gaz, chaleur, électricité, stations Hydrogène ou Gaz naturel), les sources d'hydrogène et de CO₂, les besoins en stockage des gaz et les divers procédés pourraient conduire à des applications de niche, et/ou compétitives à grande échelle, pour le

déploiement du Power-to-X. Toutes les compétences nécessaires à l'étude de ce cycle sont présentes au sein de l'Institut Carnot M.I.N.E.S. Les 13 équipes impliquées concentreront leurs efforts sur des points technologiques clefs, présentant un potentiel de rupture évident par rapport aux attentes de la filière. Les aspects développement durable relatifs aux cycles étudiés seront abordés, en outre, via des analyses de cycle de vie, la gestion des risques inhérents aux procédés et les interactions avec la sphère sociétale. Enfin, le projet s'appuiera sur le démonstrateur Power2Gas MINERVE de l'AFUL Chantrerie (Association fédératrice des utilités locales), développé en région nantaise et auquel participe l'IMT Atlantique.

L'initiative HyTrend apparaît ainsi comme un projet démonstrateur du potentiel de notre Institut Carnot pour aborder dans son ensemble une filière complexe et en émergence. Le projet bénéficiera de l'éclairage croisé de différentes disciplines,

véritable valeur ajoutée.

La coordination du projet vient compléter les récents succès du Centre dans le domaine de la filière Hydrogène-Énergie, récompensés notamment, en 2019, par le prix *Best Success Story* du FCH-JU pour le projet européen Pégasus ou la couverture du prestigieux journal *Electrocatalysis*.



Synoptique de la filière Power to X considérée dans le cadre du projet Carnot HyTREND

> **Contact :**
Christian Beauger

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 : Lucien Laiarindrasana
- **Mécanique numérique et matériaux**
 - Responsable : François Bay
- **Mécanique**
 - Responsable : Vincent Maurel

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 : Katia Mocellin
- **MS DMS : Design des matériaux et des structures**
 - Responsable : Georges Cailletaud

CHAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

- **Chaire Cristal**
 - Responsable : Georges Cailletaud
- **Chaire DEEP**
 - Responsable : Sabine Cantournet
- **Chaire ANR Opale**
 - Responsable : Nathalie Bozzolo
- **Chaire ANR Digimu**
 - Responsable : Marc Bernacki
- **Chaire ANR Infinity**
 - Responsable : Elie Hachem
- **Chaire BigMeca**
 - Responsable : Henry Proudon

■ 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 2019 ?

M-H.B : L'année 2019 a été riche en distinctions pour nos enseignants-chercheurs et nos doctorants. Patrick Navard s'est vu décerner le titre de Fellow de la Division "Cellulose & Renewable Materials" de l'American Chemical Society, la plus grande société savante au monde avec 164 000 membres ! C'est une première pour un Français, car seuls deux scientifiques non Nord-américains ont été titrés jusqu'ici. Patrick Navard reçoit ce titre pour le travail réalisé dans le cadre du réseau d'excellence européen EPNOE. La médaille Bastien & Guillet a été décernée, par la Société française de métallurgie et de matériaux, à Anne-Françoise Gourgues-Lorenzon pour s'être particulièrement illustrée dans le domaine de la formation, au service de la métallurgie et de la science des matériaux. Elie Hachem et l'équipe de recherche CFL ont reçu le 1^{er} prix Atos-Joseph Fourier, catégorie simulation numérique, calcul intensif. Nos doctorants ont été récompensés pour l'excellence de leurs travaux par de nombreux prix de thèse : Andreï Shvarts (prix CSMA), Tom Petit (prix Jean Bourgeois & prix Zwick Roell Science Award), Hélène Godin (2^e prix Bodycote SF2M), Emilie Forestier et Luiz Peirera (2^e et 3^e prix Pierre Laffitte) et Mehdi Khalloufi (Prix Paul Germain de l'AFM).

PROJETS PHARE

INTERACTION FLUIDE-STRUCTURE

DE L'ORFÈVRE SCIENTIFIQUE POUR ÉQUIPEMENTS DE PLONGÉE

L'équipe Calcul intensif et mécanique des fluides (CFL) du Cemef MINES ParisTech apporte son expertise en calcul intensif pour l'interaction fluide-structure, afin d'améliorer les performances des détendeurs d'Aqualung, société d'équipements de plongée.

Ce projet, démarré en octobre 2018, est le travail de thèse de Ramy Nemer, encadré par Elie Hachem, Thierry Coupeuz et Aurélien Larcher. Il apporte d'ores et déjà des résultats intéressants. Pour la première fois, la simulation numérique permet de visualiser les flux à l'intérieur d'un détendeur, interagissant avec les membranes de contrôle qui s'ouvrent et se referment, lâchant ainsi des bulles d'air dans l'eau. Pour obtenir ce résultat, le travail se fonde sur les équations de Navier-Stokes et s'étend à trois phases : air, membrane et eau. L'autre originalité marquante de cette thèse provient du couplage de la méthode d'immersion et de l'adaptation de

maillage anisotrope. Elles sont le fruit de l'avancée des recherches de l'équipe CFL, leader actuel en calcul intensif (le prix Joseph-Fourier Atos 2019 lui a été décerné pour ses travaux originaux) et de la capacité des super-calculateurs.

Ce couplage est appelé monolithique, car il résout, dans un même maillage, dans un même système et dans une description mécanique unique, les équations décrivant à la fois la structure (c.-à-d., la membrane de contrôle) et les fluides (ici, l'air et l'eau). Nous sommes capables aujourd'hui de résoudre, avec les mêmes méthodes éléments finis, et donc le même type de maillage, aussi bien des problèmes de structures solides, déformables et des grandes déformations que nombre de problèmes de mécanique des fluides à très grands Reynolds. La méthode d'immersion de domaine est un outil puissant pour ce type d'application, et l'adaptation de maillage automatique permettra d'éviter tout aller-retour avec une CAO. Les maillages sont fabriqués à la volée par le calculateur, sans intervention ni contrôle humain.

Accéder à des domaines d'application infinis

C'est l'originalité de notre librairie massivement parallèle, bâtie à la fois sur un mode généraliste (assemblage de composants compatibles entre eux) et sur un mode uniforme en ce qui concerne les méthodes utilisées (élément finis, maillage adaptatif anisotrope, méthodes mixtes et stabilisation, résolution par méthodes itératives de grands systèmes).

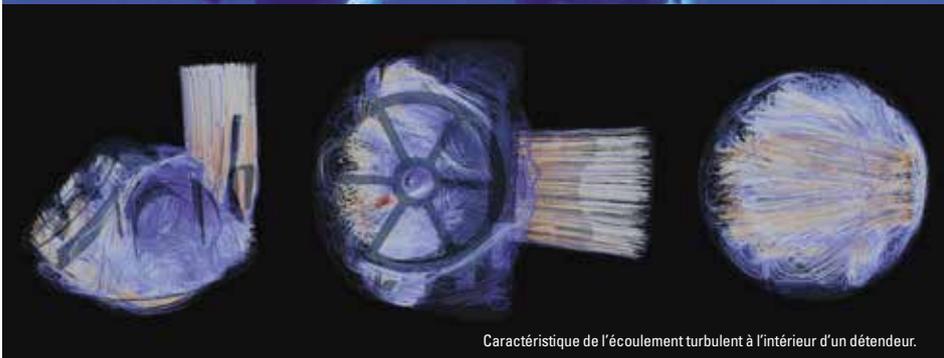
La simulation de l'interaction fluide-structure évolue continuellement et rapidement avec les moyens informatiques. Elle devient calcul intensif, avec l'émergence de plateformes parallèles de plus en plus puissantes, et permet d'accéder à des domaines d'applications beaucoup plus vastes et présentant des intérêts sociétaux plus immédiats. Aujourd'hui, des projets originaux sont demandeurs de ces nouveaux outils. Ainsi, nous nous intéressons également à la simulation de l'interaction air/panneaux d'une ferme de panneaux photovoltaïques, aux écoulements turbulents autour d'un parc d'éoliennes ou encore aux écoulements de fluides dans les vaisseaux sanguins.

> Contacts:
Elie Hachem,
Aurélien Larcher

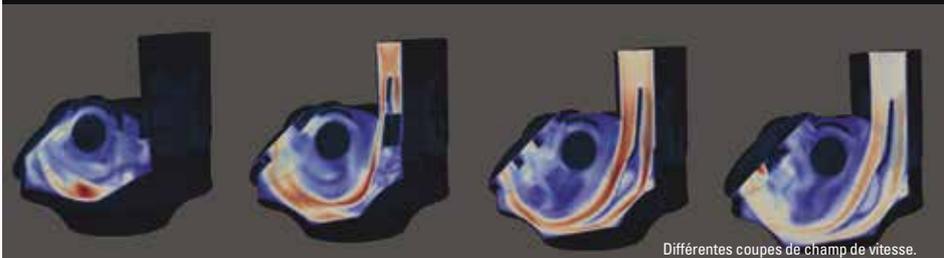
Écoulement turbulent et interaction avec une membrane dans un détendeur. Ramy Nemer (doctorant) et Aurélien Larché (maître de thèse) en essai de la nouvelle conception.



Équipements d'Aqualung testés par Ramy et Aurélien.



Caractéristique de l'écoulement turbulent à l'intérieur d'un détendeur.



Différentes coupes de champ de vitesse.

CARACTÉRISATION ET USINAGE DES MATÉRIAUX DEUX NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS DE POINTE



Charlotte Monteiro devant le nouveau DRX

Le diffractomètre de rayons X (DRX) D8 Discover (Bruker) offre de nouvelles perspectives pour la caractérisation des matériaux. Cet instrument polyvalent a une configuration unique en France. Il permet l'identification de phases, la détermination structurale jusqu'à 1200°C et/ou la sollicitation mécanique, les mesures de contraintes résiduelles

et l'analyse de la texture des matériaux. Charlotte Monteiro a rejoint l'équipe support μ MAX, du Centre des matériaux MINES ParisTech, en octobre 2019, pour prendre en charge, développer et promouvoir la DRX. Charlotte a effectué sa thèse au laboratoire CNRS CEMHTI (Conditions extrêmes et matériaux haute température et irradiation), à Orléans, et a une grande expérience des analyses DRX à hautes températures.

Le centre d'usinage numérique 5 axes permet l'usinage de pièces complexes, la reprise de pièces sortant de fabrication additive, et l'usinage plus facile des matériaux avancés de l'aéronautique et du spatial. Ce centre d'usinage a un encombrement d'usinage de 686 mm x 686 mm x H 457 mm.

> **Contacts :**
Charlotte Monteiro,
René Cluzet



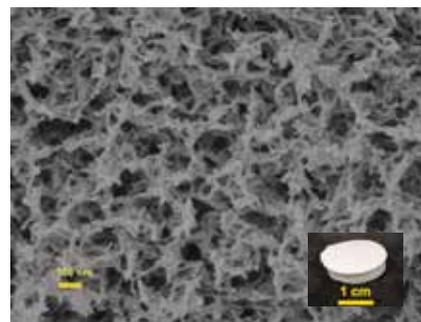
Le centre d'usinage numérique 5 axes.

AEROGELS DE CELLULOSE UNE INNOVATION BREVETÉE

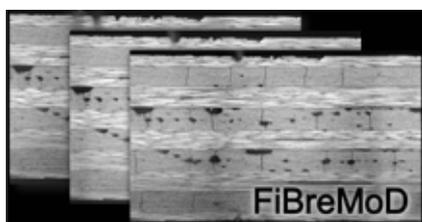
Les recherches de l'équipe bio du Cemef MINES ParisTech ont permis la fabrication de nouveaux aérogels, à base de polymères biosourcés (cellulose ou amidon), il y a une quinzaine d'années. Leurs propriétés (faible densité et très haute surface interne de pores) en font des matériaux intéressants pour l'isolation thermique, la catalyse ou comme matrices pour des applications biomédicales, cosmétiques ou alimentaires. La matière première existe en abondance dans le milieu naturel et est renouvelable. La préparation des bio-aérogels ne requiert aucune substance toxique. Parmi les points bloquants, le séchage supercritique, opération de fabrication

obligatoire dont le coût très élevé restreint les applications potentielles. L'équipe a mis en œuvre un nouveau procédé de fabrication de bio-aérogels qui se passe du séchage supercritique, tout en conservant les qualités et propriétés du matériau. Ce nouveau procédé, qui n'a jamais été décrit dans la littérature, est à la fois une découverte scientifique importante et une belle avancée technologique. Il offre de nouvelles perspectives. En 2019, un brevet a été déposé.

> **Contact :**
Tatiana Budtova

Aérogel de cellulose séché en évitant CO_2 supercritique. Densité 0.15 g/cm³, surface spécifique 240 m²/g.

COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES ET PÉDAGOGIQUES INTERNATIONALES TROIS NOUVEAUX PROJETS EUROPÉENS



Effet endommageant de la porosité dans un composite stratifié sous chargements multi-axiaux (source : thèse Jan Rojek).

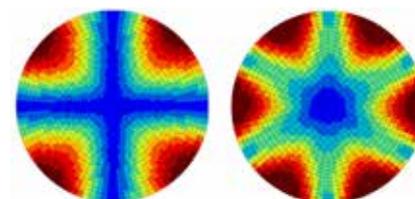
Trois projets européens H2020 sont à l'honneur en 2019, dont deux « Innovative Training Networks (INT) ».

L'ITN Enable réunit 5 universités, 12 partenaires industriels ou instituts de recherches et 9 doctorants, pour l'utilisation de lois de comportement mécanique à bases physiques pour la simulation

des procédés d'usinage et de soudage. Deux thèses sont co-dirigées par le Centre des matériaux (CMAT MINES ParisTech), et deux doctorants sont en séjours longs.

L'ITN FiBreMoD fait progresser les connaissances sur les matériaux composites avancés. Avec 13 doctorants de 8 nationalités différentes, il contribue activement à notre rayonnement international. Quatre de ces thèses sont dirigées par le Centre. Enfin, signalons le projet européen ERFTM, pour la maîtrise de composants miniatures en matériaux réfractaires pour amplificateurs de micro-ondes pour applications spatiales et terrestres. Le CMAT se charge d'accompagner l'optimisation du procédé, en s'appuyant sur une analyse chimique et métallurgique. Ses enseignants-chercheurs construisent, avec l'Institute of Energy and Cli-

mate Research, de Jülich, en Allemagne, un cadre d'échanges pour des césures, des trimestres recherche ou des échanges de doctorants dans le domaine des matériaux pour piles à combustible ou applications aéronautiques à haute température.



Simulation des grandes déformations de monocristaux en torsion.

> **Contacts :**
Samuel Forest,
Sébastien Joannes,
Alain Thorel,
Vincent Maurel

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...

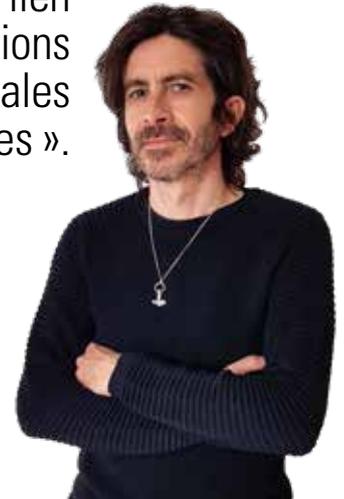
■ CENTRE DE MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE (CMM MINES ParisTech)

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 Kazakci
- **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 Kazakci
- **MS MISL Management industriel et systèmes logistiques**
 - Responsable : Frédéric Fontane
- **MS OSE Optimisation des systèmes énergétiques**
 - Responsable : Gilles Guerassimoff
- **MS ALMOVE 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 HEC Paris 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 les sciences des données à la modélisation, l'analyse, 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, et celle du CRI, sur les langages utilisés par les technologies de l'information et l'optimisation et transformation automatique de code.

QUELLES ONT ÉTÉ LES RÉALISATIONS ET/OU ÉVOLUTIONS EN 2019 ?

J.A. : Mentionnons l'ERC décrochée par Zaki Leghtas, du CAS (cf. p. 28) et les recherches du CBIO sur des méthodes d'apprentissage statistique et d'intelligence artificielle et leur application aux données en biologie et en santé (cf. p. 29). Le CMA a confirmé son orientation originale IA et data science pour le climat et l'énergie. La déclinaison des méthodes de *machine learning* et d'apprentissage se prolonge (projet européen CLIM2POWER). Le CRI a étudié le domaine des interfaces adaptatives homme-machine, en fonction, notamment, de la capacité de mémoire de travail de l'utilisateur. Signalons aussi le 1^{er} prix CARLA de Marin Toromanoff, du CAOR, et le déploiement, par le CMM, de techniques reliant morphologie mathématique et apprentissage profond (collaborations avec des industriels L'Oréal et Safran Aircraft Engines).

QUELS SONT LES PROJETS OU AMBITIONS DU DÉPARTEMENT POUR 2020 ?

J.A. : Renforcer la visibilité de nos recherches dans le domaine de l'apprentissage et de l'IA et mettre en avant notre capacité unique à travailler sur des données industrielles, souvent limitées ou partiellement annotées, tout 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, 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 souhaite développer des approches innovantes d'usage des techniques de l'IA. Il co-organisera l'école d'été *Cooperative Interactive Vehicles*, en Californie, avec KIT (Allemagne) et UC Berkeley. Le CBIO continuera ses développements en IA pour la génomique, chémoinformatique et bioimaging. Les nouveaux sujets sont l'analyse des dossiers patients, la biologie des systèmes de la mucoviscidose et la transcriptomique spatiale des tissus. 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 développera 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. Le CMA se mobilisera pour la préparation du 6^e rapport du GIEC. Sa collaboration avec l'Afrique, pour l'élaboration de stratégies de transitions énergétiques à l'horizon 2050, se concrétise en Algérie et en Côte d'Ivoire. Sa participation au projet européen GIFT (soutenabilité des systèmes énergétiques insulaires) se prolonge.

PROJETS PHARE

UNE ERC POUR ZAKI LEGHTAS

LE CAS MINES PARISTECH À L'HONNEUR

Comment expérimenter des « circuits supraconducteurs exotiques pour sonder et protéger les états quantiques de la lumière et de la matière » ? Ce projet, porté par Zaki Leghtas, chargé de recherche et d'enseignement à MINES ParisTech - et ingénieur civil (promo 2006) -, lui a valu de décrocher une bourse « jeune chercheur » de l'*European Research Council* (ERC).

Un projet impliquant deux écoles de PSL

C'est à quelques encablures de son centre de recherche de MINES ParisTech, dans une salle d'expérimentation du laboratoire de physique de l'École normale supérieure, également membre de l'Université PSL, que Zaki Leghtas mène ses projets. Ses travaux sont certes théoriques, mais aussi très expérimentaux, et nécessitent des infrastructures très particulières, offertes par ce labo.

Comment « protéger » des états quantiques ?

Selon Zaki Leghtas, il s'agirait de contrôler le comportement d'un bit quantique, qui a la particularité de se combiner dans tous les états possibles et avec une fréquence très élevée. Si nous parvenions à le manipuler de sorte qu'il ne change pas durant un temps « assez long », nous pourrions réaliser de grandes avancées. Le but : passer d'un temps de 10 millièmes de seconde à une dizaine de millisecondes. Nous obtiendrions ainsi la brique élémentaire d'un futur ordinateur quantique.

Pour atteindre cet objectif, Zaki et son équipe mettent au point des circuits supraconducteurs refroidis à une température très proche du zéro

absolu (-273,15 °C).

Parallèlement ils développent des circuits expérimentaux pour mesurer des phénomènes quantiques. Dans une paire d'électrons dite « de Cooper » - des électrons associés par deux quand la température descend sous une valeur critique - pour les chercheurs, il s'agit d'étudier l'intrication de spin : ce qui se passe lorsque deux particules se lient et présentent des états quantiques dépendants l'un de l'autre. C'est la partie « sondage » du projet.

Que va permettre ce financement ?

Une bourse ERC peut atteindre 1,5 millions d'euros sur cinq ans. Remise au nom de « l'excellence du chercheur et de la force innovante de son idée », elle permet à l'heureux lauréat de monter son équipe. Tout est déjà prévu dans le projet de Zaki Leghtas. En premier lieu, il recrute quatre étudiants et deux post-doctorants. Il finance aussi de nouveaux équipements pour bénéficier, par exemple, de réfrigérateurs plus puissants et plus efficaces. C'est un vrai changement d'échelle pour les recherches qu'il mène, en termes d'autonomie et de développement, et aussi plus personnellement, car il est désormais responsable de sa propre équipe. Un pas de plus vers le futur ordinateur quantique ?

ZAKI LEGHTAS EN 6 ÉTAPES

Sept 2019 : lauréat d'une bourse jeune chercheur de l'ERC

Depuis novembre 2015 : Chargé de recherche et d'enseignement au Centre Automatique et Systèmes (CAS MINES ParisTech-PSL)

Nov. 2012 - Oct. 2015 : Post-doctorant dans le groupe de Michel Devoret (Université de Yale)

Sept. 2009 - Sept 2012 : Doctorat en mathématiques appliquées et théorie du contrôle, sous la direction de Pierre Rouchon et Mazyar Mirrahimi (MINES ParisTech)

Sept. 2006 - Juillet 2009 : Étudiant à MINES ParisTech, cycle Ingénieur civil



Zaki Leghtas, enseignant-chercheur à MINES ParisTech-PSL.

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

LE CMA ŒUVRE POUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dans le cadre de la chaire Modélisation prospective au service du développement durable, Nadia Maïzi, Sandrine Selosse et Mathilde Tessier ont participé à la COP25 à Madrid, en décembre 2019, où le CMA a pris part à deux *side-events* de l'UNFCCC : le 1^{er}, organisé par le GIEC sur « *Les politiques de l'offre et de la demande pour la réduction des GES (gaz à effet de serre)* » ; le second, organisé par le CMA avec la participation du CIRED, d'UCA, de Total et de France Stratégie, sur « *Considérer l'acceptation sociale dans la transition énergétique des États* ». Le CMA a, en outre, organisé deux journées dédiées à la place de la science dans la gouvernance climat :

- « *La dimension territoriale de la transition énergétique bas carbone* », en partenariat avec EDF, le 6 novembre 2019 à Saclay ;
- « *Gouvernance nationale et internationale pour la lutte contre le changement climatique* », le 13 novembre 2019.

Par ailleurs, Nadia Maïzi, Directrice du CMA, auteure principale au sein du 3^e groupe de travail (WG III), a participé à la rédaction du chapitre du 6^e rapport du GIEC (AR6) dédié à la demande. Les deux premières réunions des auteurs se sont tenues en avril, à Édimbourg (RU), et en septembre, à New Delhi (Inde).

> **Contact :**
Nadia Maïzi



Sandrine Selosse, Nadia Maïzi et Mathilde Tessier ont participé à la COP25 à Madrid.

RECHERCHE EN INFORMATIQUE

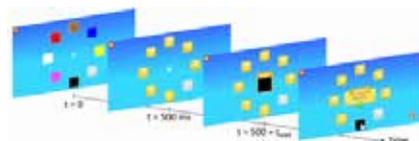
INTERFACES HOMME-MACHINE ET COGNITION

Pour parvenir à une meilleure intégration des systèmes informatiques dans les activités humaines et assister à l'émergence de dispositifs intuitifs et réellement « intelligents », une compréhension fine des processus cognitifs est nécessaire. La mémoire humaine, et tout particulièrement la mémoire de travail, responsable du stockage et de la gestion à très court terme des informations manipulées par tout un chacun, est un élément clé dans ce processus d'intégration. En collaboration avec l'hôpital Broca et le Centre d'expertise national en stimulation cognitive (CEN STIMCO), Bruno Sguerra, doctorant au Centre de recherche en informatique, a développé le cadre formel AUHWM (*An Unscented Hound for Working Memory*), qui intègre mémoire de travail et interaction homme-machine.

AUHWM est une nouvelle approche de l'interaction homme-machine par adaptation de tâche, en fonction de la capacité de mémoire de travail de l'utilisateur, laquelle varie largement, par exemple en cas de troubles cognitifs ou de stress. Une implantation de cette approche a été testée dans un jeu de mémoire visuelle, Match²s, avec un panel de 18 utilisateurs ; la figure illustre le déroulé temporel d'une partie, avec ses phases d'exposition, de

masquage et de rappel par l'utilisateur d'un carré coloré choisi aléatoirement. Fondé sur un suivi en temps-réel par filtrage de Kalman non-linéaire des capacités d'un utilisateur, estimées en fonction de sa performance, et adaptation associée des spécificités de l'interface du jeu (ici, par exemple, le temps d'affichage des éléments à mémoriser ou leur nombre), AUHWM permet d'assurer que les performances de réalisation d'une tâche restent dans un intervalle acceptable, défini à l'avance. Les perspectives offertes par ce type d'approche, qui s'appuie sur des résultats récents de modélisation computationnelle de la mémoire, sont vastes, aussi bien au sein de l'industrie (par ex., aide aux opérateurs) que dans l'accompagnement de personnes souffrant de déficits cognitifs (par ex., dans les EHPADs).

> **Contact :**
Pierre Jouvlot



Déroulé du jeu Match²s, utilisé pour estimer la mémoire de travail.

CONDUITE AUTONOME

PREMIER PRIX AU CARLA AUTONOMOUS DRIVING CHALLENGE

Marin Toromanoff (doctorant CIFRE Valeo encadré par Fabien Moutarde) a obtenu le Premier prix au « *CARLA Autonomous Driving challenge* » 2019 (catégorie « *vision-only* »).

Cette distinction récompense son approche d'Apprentissage profond par renforcement (*Deep Reinforcement Learning*) pour la conduite autonome fondée sur la vision, qui a obtenu les meilleures performances pour la « *track 2* » (vision seule) dans

cette compétition internationale. Ce benchmark évalue dans l'environnement de simulation CARLA la capacité d'algorithmes de conduite automatisée à effectuer des trajets quelconques dans une ville inconnue, en respectant les feux tricolores et en évitant les collisions avec autres véhicules et piétons.

> **Contacts :**
A. de La Fortelle, F. Moutarde

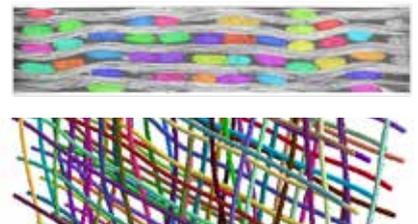
MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE

MODÉLISATION D'IMAGES POUR SAFRAN

Safran Aircraft Engines produit des moteurs d'avion Leap pour Airbus, Boeing et Comac. La nouveauté est l'introduction de matériaux composites à matrice organique (CMO) dans la conception des aubes de soufflante et du carter de rétention. Le caractère récent de ce type de matériau et leur complexité morphologique rendent leur caractérisation difficile. Leur modélisation est donc un moyen incontournable d'évaluer leurs propriétés thermo-mécaniques ainsi que les optimiser selon leur utilisation.

Le CMM (Zyad Haddad, Santiago Velasco-Forero, Samy Blusseau) développe avec Safran (Yannek Wielhorski) une modélisation descriptive fondée sur la segmentation d'images, visant à extraire la morphologie de la pièce passée dans un tomographe par rayons X. La segmentation d'image est réalisée par des méthodes combinant Morphologie mathématique et *Deep Learning*. L'individualisation de chaque toron constituant le tissage est cruciale pour Safran, car elle augmente la précision des modèles et, ainsi, des simulations numériques.

> **Contacts :**
Zyad Haddad,
Santiago Velasco-Forero,
Samy Blusseau



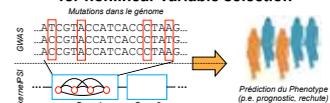
Description de la morphologie 3D de tissages de carbone à partir d'images tomographiques.

BIO-INFORMATIQUE

DÉTECTION DE L'ÉPISTASIE INTRAGÉNÉTIQUE

Dans le cadre de la 36^e conférence internationale sur l'Apprentissage automatique (*Machine Learning*), en juillet 2019, aux États-Unis, le C BIO a proposé une publication sur la détection de l'épistasie intragénétique (effets synergétiques de multiples mutations d'un gène sur une maladie).

kernelPSI: a post-selection inference framework for nonlinear variable selection



Référence : L. Slim, C. Chatelain, C.-A. Azencott, J.-P. Vert. kernelPSI: a post-selection inference framework for nonlinear variable selection, *Proceedings of the Thirty-Sixth International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2019 97:5857—5865.

> **Contact :**
Chloé-Agathe Azencott

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 : la fabrique de l'économie, les formats de la démocratie technique et la constitution des individus et des collectifs.

« 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

■ Socio-économie de l'innovation

- 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 ADEMA : Management associatif

- Responsable : Vololona Rabeharisoa

■ 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 (FIT?)

- 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 2018 ?

Jérôme Denis : En 2019, nos travaux ont donné lieu à des publications de natures variées qui ont circulé et ont été discutées au-delà des seuls cercles académiques. Dans le cadre du programme de recherche au long cours qu'il consacre à l'analyse économique des marchés de l'efficacité énergétique et à l'évaluation des politiques publiques visant à les développer, le CERNA a, par exemple, produit une étude très largement diffusée, dans laquelle ses chercheurs mettent en lumière, à partir de données inédites, la faible rentabilité des pratiques de rénovation sur le plan des seules économies d'énergie. Le CSI a, quant à lui, publié un rapport sur l'organisation de la maintenance des réseaux d'eau en France. Ce document marque la fin d'une enquête de 18 mois, commanditée par la Caisse des dépôts et menée en partenariat avec l'ISIGE. À l'heure des recompositions territoriales de la loi NOTRe, les auteurs soulignent les enjeux de la production de connaissance dans la mise en œuvre d'une stratégie patrimoniale ambitieuse et l'importance du développement de nouvelles compétences techniques au sein des collectivités. L'une des particularités du Département réside dans sa volonté de collaborer avec des parties prenantes très diverses. La chaire Théorie et méthodes de la conception innovante, créée par le CGS, est un des exemples phares de cette politique. En 2019, la chaire, qui rassemble aujourd'hui 12 entreprises de tailles très différentes, a entamé son 3^e cycle. Celui-ci est consacré aux rôles que peut tenir la conception dans les transformations socio-économiques contemporaines marquées par des défis d'une ampleur inédite (changement climatique, montée des inégalités...). Au CRC, le projet ANR « FOEHN », qui consiste à améliorer l'évaluation des performances des inspections en modélisant le rôle et l'impact des facteurs organisationnels et humains dans la fiabilité des méthodes d'évaluation non-destructive, a démarré. Ce projet a notamment débouché sur l'élaboration d'un outil qui permet d'identifier, pour une situation d'interprétation donnée, la phase de l'activité présentant les principaux risques d'erreur humaine. L'année a par ailleurs été marquée par un important travail collectif d'ingénierie pédagogique mené dans le cadre de la refonte de l'enseignement du cycle Ingénierie civils : ouverture de la nouvelle formule de la première année et réorganisation de l'offre d'enseignement en deuxième et troisième années. Cette refonte a été l'occasion de repenser le contenu de certains cours et de créer de nouveaux enseignements adaptés aux enjeux contemporains.

Enfin, l'année a vu l'ouverture de la nouvelle école doctorale Sdose (Sciences de la décision, des organisations, de la société et de l'échange) qui rassemble le CERNA, le CGS, le CSI et leurs partenaires de l'Université Paris-Dauphine au sein de PSL.

■ QUELS SONT LES PROJETS ET AMBITIONS DU DÉPARTEMENT POUR 2020 ?

J.D. : Dans le cadre de la nouvelle formule de la deuxième année du cycle Ingénieur civil, l'École va inaugurer des méthodes inédites d'initiation à la recherche à travers la mise en place de modules d'un trimestre à plein temps, pendant lesquels les élèves participeront aux activités de recherche en immersion dans les centres. Le Département accueillera cette année une première promotion d'élèves, répartie dans les différents centres, autour de thèmes et de projets concrets à travers lesquels ils pourront découvrir et pratiquer les méthodes et les problématiques spécifiques aux sciences économiques et sociales.

Sur le plan de la recherche, les travaux sur les dynamiques socio-politiques de la performance énergétique se poursuivront au sein du CSI, avec notamment l'ouverture de nouveaux terrains d'enquête dans le cadre du projet PREMOCLASSE, mené en partenariat avec EDF et le CIRED. Il s'agira d'examiner l'histoire et les évolutions actuelles du Diagnostic de performance énergétique, qui doit, dans les années à venir, acquérir un nouveau statut juridique en devenant opposable. Le CERNA va, pour sa part, se pencher sur l'efficacité de la politique des Certificats d'économie d'énergie qui oblige les fournisseurs d'énergie à subventionner les investissements dans l'efficacité énergétique.

Enfin, deux chaires, créées par le CGS, vont être renouvelées : Internet physique, dirigée par Éric Ballot, et Théorie de l'entreprise. Modèles de gouvernance et création collective, dirigée par Blanche Segrestin.

PROJETS PHARE

FACTEURS ORGANISATIONNELS ET HUMAINS POUR L'ÉVALUATION DES METHODES END (FOEHN)

Le projet ANR FOEHN s'inscrit dans le contexte des recherches menées pour accroître la fiabilité des méthodes END (Évaluation non-destructive) utilisées dans l'industrie. La fiabilité des techniques END peut être évaluée par approche déterministe ou bien probabiliste. Les facteurs organisationnels et humains (FOH) sont aujourd'hui très insuffisamment pris en compte par la communauté END.

Un premier objectif a été d'analyser et modéliser l'influence des FOH, dans la perspective d'une meilleure évaluation des performances des inspections. Il s'agit aussi de proposer des outils d'évaluation de la POD (Probabilité de détection) intégrant les aspects humains ainsi que les facteurs techniques qui gouvernent la performance globale et finale du dispositif.

Le projet a démarré par la collecte et la sélection de cas réels, à même d'orienter l'analyse et la prise en compte des facteurs organisationnels et humains. Cette première phase s'est traduite par des échanges entre des experts des facteurs humains du Centre de recherches sur les risques & les crises (CRC MINES ParisTech - PSL) et des experts en END radiographiques à haute énergie (RT par isotope) de la Direction industrielle (DI)

d'EDF et de l'Institut de soudure (IS). Un cas d'étude a été retenu pour lequel il a été avéré que plusieurs inspections successives n'ont pas permis la détection d'un défaut existant avant que celui-ci ne soit à l'origine d'une fuite dans un CNPE (Centre nucléaire de production d'électricité). Les études de cas ont mis en évidence la diversité et la complexité des contrôles. Les contrôles RT, par exemple, se décomposent en plusieurs phases : préparation du chantier (notamment balisage) ; réalisation des tirs ; développement des radiogrammes ; interprétation des radiogrammes. Les phases de préparation et de réalisation des tirs radiographiques ayant déjà fait l'objet d'études FOH antérieures, il a été décidé de porter les efforts d'analyse et de modélisation sur la phase d'interprétation.

La tâche d'analyse et de modélisation des FOH s'est appuyée sur une étude bibliographique, complétée par une campagne d'enquête terrain. Cette campagne a reposé sur l'observation non-participante d'opérateurs sur sites, plusieurs entretiens semi-directifs individuels et collectifs auprès d'un échantillon de personnes couvrant les principaux rôles organisationnels et hiérarchiques de la profession (maîtrise d'ouvrage, management, opération, supervision) et le suivi de formations d'opérateurs en END. Ainsi, il a été possible de réaliser :

(1) une sociologie du métier, mettant notamment en évidence les principaux facteurs d'attractivité et de contraintes de la profession ;

(2) une modélisation de l'activité et des déterminants de performance humaine à des fins d'estimation quantitative de probabilité d'erreur. L'analyse de la probabilité d'erreur est proposée en adaptation de la méthode CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method). Elle exploite une analyse hiérarchique des tâches constitutives de l'opération d'« interprétation d'un radiogramme » en 60 sous-tâches, réalisée lors des observations et validée par entretiens collectifs d'experts, ainsi qu'une liste adaptée de facteurs d'influence (ou CPC pour *Common Performance Conditions*) qui sont à même de soutenir ou de dégrader la possibilité de bonne exécution de la tâche. En appliquant les principes méthodologiques proposés par Hollnagel, il est alors possible d'estimer, pour une situation d'interprétation donnée, la phase de l'activité présentant les principaux risques d'erreur humaine, et aussi de déterminer du défaut de quelle fonction cognitive cette erreur peut provenir.

> Contact :
Justin Larouée



Interprétation d'un radiogramme dans un CNPE lors des campagnes d'observations menées dans le cadre du projet ANR FOEHN.

RÉNOVATION DES BÂTIMENTS L'ÉCONOMIE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

La rénovation énergétique des bâtiments est au cœur des discussions sur la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique. Dernières illustrations en date, le plan gouvernemental de rénovation énergétique des bâtiments prévoit la rénovation de 500 000 logements par an pendant 5 ans, dont 150 000 « passoires thermiques ». Cette priorité se manifeste par une multiplication de politiques publiques et d'instruments : prêt à taux zéro, MaPrimeRénov, nouvelle subvention pour la rénovation énergétique, certificats d'économie d'énergie, diagnostic de performance énergétique... Le CERNA a lancé, depuis quelques années, un programme de recherche d'analyse économique des marchés de l'efficacité énergétique et d'évaluation des multiples politiques publiques qui visent à les développer, un pro-

gramme particulièrement actif en 2019, avec la publication d'une étude qui a fait du bruit chez les spécialistes du secteur. À l'aide de données sur des travaux réellement effectués par des ménages et leurs factures énergétiques, avant et après travaux, elle estime que 1 000 euros de travaux ne diminueraient en moyenne la facture énergétique que de 8,4 € par an. Pour un investissement moyen de l'enquête, cela correspond à une (très modeste) diminution de 2,7 % de la facture. La rénovation énergétique serait alors loin d'être rentable, si l'on s'en tient aux seules économies d'énergie. Ces résultats ont eu un écho au-delà du monde de la recherche, puisque le résumé de l'article, pour le grand public, a été vu 60 000 fois sur le site du media The Conversation. Pour 2020, l'équipe va se pencher sur l'efficacité de la

politique des Certificats d'économie d'énergie, qui oblige les fournisseurs d'énergie à subventionner les investissements dans l'efficacité énergétique.

Contact :
Matthieu Glachant



La rénovation thermique des logements réduit-elle vraiment la facture énergétique ?

RÉNOVATION DES BÂTIMENTS L'ÉCONOMIE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Ce rapport, réalisé pour le compte de la Caisse des dépôts, marque la conclusion d'un projet de recherche de 18 mois, financé par la Banque des territoires et l'Institut CDC pour la recherche, coordonné par l'ISIGE (Daniel Florentin) et le CSI (Jérôme Denis).

S'appuyant sur une enquête qualitative approfondie, le rapport s'inscrit dans un double contexte : les recompositions territoriales, initiées par la loi NOTRe et les Assises de l'eau. Il identifie les transformations en cours dans la gestion des réseaux d'eau en France et décrit les principales initiatives qui émergent au niveau local. Il en tire une série de points de vigilance dans l'accompagnement du « tournant patrimonial » dont elles témoignent. Parmi ceux-ci, les auteurs insistent sur le risque que représente la mise en place d'indicateurs génériques, destinés à s'appliquer à l'échelle nationale,

et mettent en lumière l'utilité d'indicateurs variés, adaptés aux spécificités locales. Ils insistent également pour faire de la connaissance des réseaux un domaine d'investissement à part entière, plutôt qu'une précondition aux financements. Loin d'aller de soi, la production de données de qualité est un enjeu crucial et représente des coûts importants, souvent masqués par les promesses de certaines solutions techniques estampillées « Big Data » ou « intelligence artificielle ». Enfin, le rapport pointe les enjeux organisationnels d'une gestion patrimoniale ambitieuse, qui suppose que se développent, au sein des collectivités, de nouvelles compétences, à l'heure de l'affaiblissement de l'ingénierie d'État. À l'échelle des territoires recomposés par la loi NOTRe, le tournant patrimonial de la gestion des réseaux d'eau présente, par ailleurs, une opportunité pour rééquilibrer la hiérarchie des

infrastructures et mettre en œuvre des politiques environnementales d'envergure.

Contact :
Jérôme Denis



Renouvellement d'une canalisation d'eau potable.

CHAIRE TMCI LANCEMENT DU 3^E CYCLE

La chaire Théorie et méthodes de la conception innovante (TMCI) a lancé, en 2019, son troisième cycle de cinq ans, avec un cercle de partenaires encore élargi, comprenant aujourd'hui 12 entreprises, allant des multinationales aux start-ups, toutes fortement engagées sur les questions de conception innovante : Airbus, Dassault Systèmes, ST Microélectronique, SNCF, Renault, Thales, Nutriset, Urgo, Spoon, Styckr, Cayak et Stim. TMCI est une chaire d'enseignement et de recherche. Elle a permis de réaliser des avancées scientifiques majeures, reconnues au plan mondial et couronnées par de nombreux prix (8 prix en 2019). Un premier axe de travail consiste à développer la théorie C-K à l'aide d'autres modèles formels (C-K et forcing, C-K et matroids, C-K et topos...).

Ces progrès sur la théorie de la conception permettent ainsi des avancées sur les autres axes de travail : organisations et méthodes de conception, neurocognition de la conception, dynamique des écosystèmes de conception, régimes de création. Le troisième cycle met l'accent sur la façon dont la conception contribue à faire face aux menaces communes et aux transformations socio-économiques contemporaines (changement climatique, montée des inégalités, société inclusive, objectifs de développement durable...). Il explore les formes possibles des nouveaux patrimoines de création, susceptibles de conjuguer préservation et création, permettant une création sans destruction et une préservation sans ossification.

Contact :
Armand Hatchuel,
Benoît Weil



Colloque à MINES ParisTech pour le lancement du 3^e cycle de la chaire TMCI.

p.34
ENTRETIEN AVEC
JÉRÔME ADNOT

p.36
CYCLE
INGÉNIEURS
CIVILS

p.38
MASTÈRES
SPÉCIALISÉS

p.39
FORMATION
CONTINUE

p.40
DOCTORAT

p.41
CORPS
DES MINES

ACCOMPAGNER L'INGÉNIEUR ET LE CHERCHEUR DU FUTUR



QUESTIONS À :

JÉRÔME ADNOT

DIRECTEUR DE L'ENSEIGNEMENT

■ QUEL EST LE BILAN DU RECRUTEMENT 2019-2020 ?

JÉRÔME ADNOT : Le nombre d'élèves ingénieurs en formation, d'étudiants inscrits en Master et Mastère spécialisé et de doctorants est monté à 1505, fin 2019, contre 1377 en 2017. La croissance des flux ingénieurs se fait par voie de concours et par admissions parallèles. Nous avons recruté 196 ingénieurs généralistes, 28 ingénieurs de spécialité, avec de très bons indicateurs de sélectivité. La croissance des flux de Mastère spécialisé (MS) se fait par l'innovation et grâce à la demande des entreprises.

En 2019, nous avons pu basculer trois MS dans des formats d'alternance, facilitant le soutien par les entreprises. Nous avons également ouvert deux MS en Intelligence artificielle (IA).

Nous effectuons un travail continu pour analyser la demande des entreprises, tout en surveillant certaines variables clefs, conformément aux recommandations des pouvoirs publics :

- degré de diversité et de parité de chaque cycle ;
- apprentissage ingénieur ;
- obligation d'une expérience suffisante à l'étranger ;
- doubles diplômes internationaux.

Le maintien des deux Instituts franco-chinois, SPEIT et ICARE reste également l'une de nos priorités.

L'ouverture sociale est particulièrement suivie, s'agissant des diplômés d'ingénieur, à travers les pourcentages de boursiers et d'apprentis. On est à 24%, et les variables clefs sont le développement de l'apprentissage et des admissions parallèles.

FOCUS



L'équipe de la Fondation présente les résultats de la campagne de développement.

■ COMMENT RENFORCER LE CARACTÈRE PROFESSIONNALISANT DE VOS DIPLÔMES ?

J.A. : Dans le cadre des nouvelles lois sur la formation, dont la *Loi pour la liberté de choisir son avenir professionnel* (LCAP), chaque cycle de formation doit documenter les compétences acquises dans les enseignements (document structuré par Unité d'enseignement, pour le cycle IC, et globalement, pour les autres cycles).

La croissance du nombre d'étudiants se fera en préservant la qualité du tutorat individuel et la vérification des compétences, propres à notre École. Ceci grâce à l'augmentation de la contribution des enseignants-chercheurs de l'implantation de MINES ParisTech à Sophia Antipolis à la formation d'ingénieurs (en priorité pour cycle IC), à partir de 2020. La structure même de notre établissement, qui demande que chaque diplôme soit piloté par un Comité d'orientation, où formateurs et représentants d'entreprises sont en proportion équilibrée, est une source de progrès continu.

Les étudiants internationaux qui nous rejoignent, toujours plus nombreux, savent qu'ils vont bénéficier de ce cadre d'excellence qui les mènera à un emploi. C'est ainsi que l'internationalisation de nos recrutements monte à 30%, dans le cas des MS, et à 50%, dans le cas du doctorat.

Le taux d'insertion professionnelle des ingénieurs et des diplômés de MS (96,4% à 6 mois et 99,1% à 18 mois) est un bon objectif pour tous.

Notons que le pourcentage des docteurs formés à MINES ParisTech puis employés par une entreprise ou un établissement industriel est au-dessus des moyennes nationales et atteint 60%, 6 mois après l'obtention du diplôme.

■ LES ÉLÈVES INGÉNIEURS CONSTITUENT ENVIRON LA MOITIÉ DE VOS ÉTUDIANTS : QUEL CHOIX FAITES-VOUS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE VOS ENSEIGNEMENTS ?

J.A. : Les fondamentaux du système français augmentent son attractivité. À MINES ParisTech, le bagage scientifique de chaque étudiant, lors du recrutement, ses acquis en cours de formation et ses compétences en entreprise sont rigoureusement suivis et évalués.

Certes, le niveau de connaissances exigé par le Concours commun, par lequel nous recrutons une majorité d'élèves ingénieurs, est un vecteur important de l'image d'excellence qui s'attache à notre école. Néanmoins, les autres cycles bénéficient du même suivi attentif des apprentissages. La double sanction de la Théorie et de la Pratique sont présents dans tous les cycles.

Nous contribuons également au développement de PSL, l'université dont nous sommes devenus une composante essentielle et au sein de laquelle nous avons notre propre territoire, nos propres diplômes. Nous y animons notamment le programme gradué ingénierie, et nous assurons la gestion pédagogique de l'école doctorale ISMME (Ingénierie des systèmes, matériaux, mécanique, énergétique).

INAUGURATION DE L'AMPHITHÉÂTRE SCHLUMBERGER

L'Amphithéâtre, restauré, a été inauguré le 19 septembre 2019, en présence des alumni, bien-faiteurs, donateurs et partenaires ayant pris part à l'opération « adopte un siège ». 120 sièges ont ainsi été adoptés, permettant à la Fondation Mines ParisTech de contribuer à hauteur de 1,4M€ au financement des travaux.

Après plus de 14 mois de chantier, c'est un espace confortable et moderne, offrant jusqu'à 150 places assises (115 auparavant), dont 6 places PMR (personnes à mobilité réduite), qui accueille aujourd'hui les étudiants.

Ce même jour fut également dévoilé le nouveau « mur des donateurs », qui comporte maintenant 65 noms. La nouvelle campagne de collecte, présidée par Jean-Pierre Clamadieu, démarrera en 2021. Bientôt de nouveaux noms à inscrire sur le mur ?



Robert Brunck, président de la campagne 2014–2018, et Antoine Battistelli, délégué général de la Fondation.

ILS EN PARLENT ...



Aftermovie du H4ck@mines 2019
MINES ParisTech.

« Entendre ce que les élèves ont à dire sur la scolarité... ».

Le Hack@thon pédagogique ou comment impliquer les étudiants dans la refonte du cycle Ingénieur civil. Une journée intense et bouillonnante pour mieux cerner l'identité du "mineur" et proposer un enseignement innovant pour construire l'avenir.

<https://bit.ly/38FD9CE>

RETROUVEZ
LES TÉMOIGNAGES DE NOS ÉTUDIANTS
EN VIDÉO SUR
MINES-PARISTECH.FR



www.mines-paristech.fr/WebTV/

17 options au choix

Élément essentiel de la pédagogie, l'option fournit à chaque élève l'occasion de mobiliser l'ensemble de ses connaissances pour obtenir une solution au problème industriel concret qui lui est posé dans le cadre d'un projet conduit en collaboration avec une entreprise ou un organisme partenaire de MINES ParisTech. L'École propose 17 options au choix.

Mathématiques et mathématiques appliquées

Géostatistique et probabilités appliquées – Mareva (Automatique, robotique, vision et morphologie mathématique) – Management des systèmes d'information – Ingénierie digitale des systèmes complexes.

Sciences de la matière

Biotechnologies – Génie atomique – Géosciences – Machines et énergie – Procédés et énergie – Sciences et génie des matériaux – Sol et sous-sol.

Sciences économiques et sociales

Affaires publiques et innovation – Économie industrielle – Gestion scientifique – Ingénierie de la conception – Innovation et entrepreneuriat – Système de production et logistique.

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, Agro ParisTech, HEC, ESCP Europe) pour leur offrir une formation d'ingénieur où chaque élève trouve sa place.

UNE NOUVELLE MAQUETTE POUR LA RENTRÉE

En septembre 2019, 125 nouveaux élèves ont intégré la 1^{re} année du cycle Ingénieur civil (IC), inaugurant une formation réinventée pour eux. La nouvelle maquette a été élaborée par une équipe associant enseignants-chercheurs, élèves et anciens élèves, partenaires académiques et industriels et l'ensemble des instances de l'École. Son développement et sa mise en place ont rythmé l'année 2019. En janvier, une centaine d'élèves participaient à un hackathon pédagogique, le H4CK@MINES, afin de proposer des évolutions innovantes pour la formation. De février à juin, toutes les nouvelles UE (Unités d'enseignement) étaient présentées au sein des comités, afin de partager les créations pédagogiques proposées dans cette nouvelle maquette. Et avant l'été, un site Web dédié (www.admissibles.mines-paristech.fr) était ouvert, présentant en détail le cursus aux élèves passant les concours. Voici les principales opportunités offertes par cette nouvelle maquette :

- une approche pédagogique centrée sur les élèves, conciliant face-à-face pédagogique, travail individuel encadré, projets de groupe, immersion en entreprise et vie associative ;
- le renforcement des enseignements théoriques et pratiques sur deux grands enjeux pour l'Ingénieur du 21^e s. : la transition énergétique et la transition numérique (avec, notamment, les outils scientifiques de l'IA dès la 1^{re} année) ;
- un cursus modulaire, dès la 2^e année, pour favoriser mobilités et doubles diplômes dans les écoles de l'Université PSL et à l'international (35 universités partenaires à travers le monde) ;
- l'immersion dans le monde de la recherche, avec la réalisation d'un trimestre dans un centre

de recherche de l'École ou de PSL, ou au sein d'universités étrangères ;

- des projets d'ingénierie multidisciplinaires en mode agile (de la conception au prototypage) basés sur le *learning by doing* ;
- la création d'une *Entrepreneurship week* en 1^{re} année, afin d'appréhender les nouvelles composantes de l'environnement économique ;
- l'accent mis sur l'acquisition des *soft skills* et des activités linguistiques, créatives et artistiques (notamment via les autres écoles de PSL) ;

De sa riche histoire, l'École a appris que l'identité des ingénieurs se construit à travers trois fonctions :

- une fonction critique : savoir intégrer des champs disciplinaires différents, afin de développer des avancées scientifiques et techniques orientées vers le progrès collectif ;
- une fonction créative : savoir innover et concevoir des solutions robustes et soutenables et les mettre en œuvre au sein de différents types d'organisation. ;
- une fonction sociale : savoir donner du sens aux travaux que l'on conduit et développer des formes de travail plus participatives et plus inclusives, notamment pour la conduite de projets complexes avec une multiplicité d'acteurs de différentes cultures.

Ainsi, la progression pédagogique de la nouvelle maquette du cycle IC ambitionne de conduire nos élèves à être humbles devant des faits - souvent incomplets et parfois contradictoires -, et vise à les doter de méthodologies d'approche de la complexité et d'une démarche intellectuelle rigoureuse.



INGÉNIEURS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Imaginé et construit par un groupe d'étudiants de 2^e année, ce nouveau séminaire fait désormais partie intégrante du cursus IC. C'est une belle illustration de la philosophie qui sous-tend la refonte du cycle : que l'élève ingénieur soit acteur, contributeur et responsable de sa formation.

Il s'agit d'une formation intensive visant à donner aux étudiants de 3^e année des clés de compréhension et d'action face aux enjeux des transitions énergétiques et environnementales. Les 7 et 8 novembre 2019, trois demi-journées de conférences, avec pour invités une dizaine d'intervenants de haut niveau, ont permis d'aborder :

- la gestion des ressources ;
- la mesure d'impact environnemental d'activités industrielles ;
- les modèles économiques intégrant des aspects environnementaux ;
- le devenir de l'ingénierie dans un monde sans perspective de croissance à long terme.

Un après-midi d'ateliers thématiques a permis aux élèves de mettre immédiatement en application leurs nouvelles connaissances et de se livrer à un exercice de synthèse, qui fera l'objet d'une parution aux *Presses des Mines*.



Paul, Amaury, Domitille, Clarisse, Coline et Antoine, élèves ingénieurs, et le directeur des études, Matthieu Mazière (à droite, au 2^e rang) ont élaboré un nouveau cours.

28 %
de femmes en 1^{re} année du cycle IC

98,5 %
en emploi immédiatement
après le diplôme

232
stages en PME/ETI

INGÉNIEUR DE SPÉCIALITÉ

INGÉNIEUR ISUPFERE

59 apprentis et 19 stagiaires en formation continue font de 2019 une année record. La part des femmes en apprentissage dépasse, pour la 1^{re} fois, le quart de la promotion. ISUPFERE travaille avec de nombreuses grandes entreprises et PME du secteur énergétique. 2019 a vu le placement d'un apprenti dans une start-up.
> en savoir [plus](http://www.isupfere.mines-paristech.fr/) <http://www.isupfere.mines-paristech.fr/>

La loi pour la Liberté de choisir son avenir professionnel a conduit ISUPFERE à mener de nombreuses démarches pour faire certifier la formation continue dans le nouveau cadre imposé. Elle a ainsi obtenu son enregistrement au RNCP (Répertoire national des certifications professionnelles) et son référencement au CPF (Compte personnel de formation).



MASTERS

Depuis la rentrée 2019, l'Université PSL propose une nouvelle offre de formation en masters, couvrant tous les domaines : Sciences, Ingénierie, Humanités, Sciences sociales et Arts.

MINES ParisTech est impliquée, au titre de porteur, dans 8 mentions de master portées par PSL. Elle assure notamment le rôle d'opérateur dans la mention Énergie.

ÉTABLISSEMENTS PORTEURS (CONVENTION DE GESTION)	ÉTABLISSEMENT OPÉRATEUR (GESTION ADMIN.)	MENTION
Chimie ParisTech, ESPCI	MINES ParisTech	Énergie
MINES ParisTech	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

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/>

CROISSANCE DE L'ALTERNANCE

Les étudiants en alternance sont en constante progression dans les Mastères spécialisés (54 en 2019), et nous constatons également un fort accroissement des offres des entreprises et industriels. Résultat : nous avons plus d'offres que d'étudiants !

- Les alternants sont en contrat de professionnalisation.
- Leurs frais pédagogiques sont pris en charge par une entreprise.



La promo 2019-2020 du MS MRI : 32 alternants sur 36 étudiants.



La promo 2019-2020 du MS IGE : 22 alternants sur 30 étudiants.

UNE NOUVELLE FORMATION : LE MASTÈRE SPÉCIALISÉ HPC-AI

Le Mastère spécialisé *High Performance Computing and Artificial Intelligence for Industry* (HPC-AI) vise à former des experts du calcul haute performance (HPC), de l'analyse des données massives et de l'apprentissage automatique.

Le besoin de compétences en HPC et IA est accentué par la prolifération de l'informatique prédictive. Cette dernière nécessite des moyens de calcul de plus en plus conséquents. Tous les secteurs industriels sont concernés et ont souvent recours à la formation par la recherche, dans le cadre de contrats doctoraux, pour former leurs futurs ingénieurs R&D aux métiers du HPC et de l'apprentissage automatique.

Le recrutement, pour ce type de profil rare, est difficile, car très peu de formations initiales proposent une double compétence en mathématiques appliquées et en informatique. Une bonne partie de la durée d'intégration des jeunes ingénieurs est ainsi consacrée à compléter leur formation initiale, au détriment de l'approfondissement de leur connaissance métier de l'entreprise. La formation que nous proposons permet de palier ce manque d'ingénieurs de haut niveau maîtrisant les domaines de calcul et d'analyse à haute performance.



ILS EN PARLENT ...



MS AIMOVE, Intelligence artificielle et mouvement dans les industries et la création

« Plongée en images au cœur de cette nouvelle formation, en anglais... »

Son objectif ? Former des experts en IA centrée sur l'humain et des chefs de projet capables de concevoir, de réaliser et d'exploiter des systèmes interactifs ou des espaces de travail intelligents (mettant en valeur les capacités sensori-motrices et cognitives de l'utilisateur), grâce à une connaissance globale du secteur d'activité et de la technologie de veille.

<https://bit.ly/2ZRKcUO>



RETROUVEZ
LES TÉMOIGNAGES DE NOS ÉTUDIANTS
EN VIDÉO SUR

MINES-PARISTECH.FR



www.mines-paristech.fr/WebTV/

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, dans 5 grands domaines : Sciences de la terre et de l'environnement, Énergétique et procédés, Mécanique et matériaux, Mathématiques et systèmes et Économie, management et société.

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. 2019 a vu le développement d'une formation professionnelle pour des cadres dirigeants, du public comme du privé.

executive.education@mines-paristech.fr

BADGE

Pour s'adapter au mieux aux besoins des entreprises et des individus, les « Badges » certifient les compétences acquises. Le Badge (Bilan d'aptitude délivré par les grandes écoles) est un label de la Conférence des grandes écoles. Actuellement, trois « Badge » sont proposés par MINES ParisTech.

badge@mines-paristech.fr

BADGE MANAGEMENT HOSPITALIER : ACCOMPAGNER LE CHANGEMENT

La bonne participation au BADGE Management hospitalier (MA-HOS) se confirme avec 42 élèves en 2018-2019 et 46 élèves en 2019-2020.

Le secteur de la santé, et plus particulièrement les établissements hospitaliers, connaissent depuis plusieurs années des transformations profondes dans leur fonctionnement interne et dans leur environnement (évolutions technologiques, virage ambulatoire, transformation numérique, place du patient...). Face à ce contexte, il est essentiel que les professionnels de santé, et notamment les médecins (médecins hospitaliers ou médecins de ville), puissent mieux comprendre ces transformations et devenir acteurs de ces changements, soit pour les accompagner, soit pour proposer d'autres scénarios d'évolution.



Cérémonie de remise des diplômes de Badges, en 2019, à MINES ParisTech.

L'IHEIE

L'institut des hautes études pour l'innovation et l'entrepreneuriat (IHEIE)
forme les leaders de l'innovation et de l'entrepreneuriat

> en savoir + iheie.fr/

L'année 2019 a vu le lancement du 4^e Cycle international de l'IHEIE, un cycle de formation portant sur les écosystèmes d'innovation et d'entrepreneuriat dans le monde. La 4^e promotion d'auditeurs du Cycle continue à se focaliser sur la découverte de pratiques avant-gardistes et sur un accès privilégié aux dernières connaissances et compétences issues des chercheurs et des praticiens de rang mondial.

En octobre 2019, l'IHEIE a inauguré son Certificat exécutif « Digital Native ». Ce programme propose une approche globale de la transformation numérique sous l'angle des humanités. Il donne aux participants les clés

pour comprendre en détail l'environnement numérique, questionner les experts et maîtriser les décisions dans le cadre de pratiques numériques responsables. L'intégralité des 15 places ouvertes a été remplie par une promotion de haut vol, aux parcours très complémentaires en provenance d'industries diversifiées.

L'IHEIE a également lancé, en 2019, son « Data Innovation Lab », une cellule de recherche appliquée en intelligence artificielle. Son objectif est essentiellement le montage, le pilotage et la concrétisation de projets d'IA exploratoire, dans un but d'identifier les verrous techniques et scientifiques à haut potentiel de valeur.

Une demi-douzaine d'entreprises ont déjà pu bénéficier de son expertise.

> **Contact :**
Cédric Denis-Rémis



Promotion 2019 du Cycle international de l'IHEIE.

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/](http://www.mines-paristech.fr/Formation/Doctorat/Accueil/)

ILS EN PARLENT ...



Carlos Adrian Correa Florez,
Docteur PSL MINES ParisTech, lauréat du
1^{er} prix de thèse Think Smartgrids 2019

« C'est une fierté d'être reconnu ! J'étais encadré par des gens incroyables, très professionnels, très humains (...) j'ai surtout apprécié de travailler pour un projet européen (...) j'ai appris beaucoup de choses, échangé avec des gens de partout... »

Carlos a effectué sa thèse au Centre Persée MINES ParisTech. Son sujet portait sur l'optimisation des ressources renouvelables installées dans les bâtiments. Il a été utilisé par EDP (Electricidade de Portugal), dans le cadre d'un projet européen.

Découvrez son témoignage et le prix de thèse Think Smartgrids

<https://bit.ly/38DqoZn>

RETROUVEZ
LES TÉMOIGNAGES DE NOS ÉTUDIANTS
EN VIDÉO SUR
MINES-PARISTECH.FR



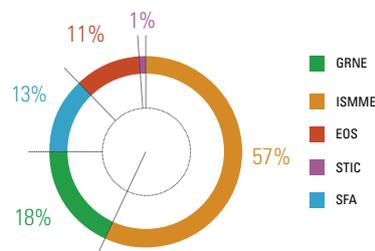
www.mines-paristech.fr/WebTV/

Les centres de recherche de MINES ParisTech sont rattachés à 5 Écoles doctorales co-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'Echange (Sdose n°543)

DOCTEURS : PROMOTION 2019

83 nouveaux docteurs ont reçu un diplôme de l'Université PSL, préparé à MINES ParisTech. Parmi ces diplômés, 25% sont des femmes, et 42% sont de nationalité étrangère.



Répartition des étudiants dans les écoles doctorales.

ENQUÊTE DE SATISFACTION

Cette enquête a été menée par le Collège doctoral de PSL, de juin à fin août 2019, auprès des doctorants inscrits en 2018/2019. Pour les doctorants préparant leur thèse à MINES ParisTech, 165 sur 380 inscrits en 2018/2019 ont répondu à cette enquête, soit un taux de réponse de 43%.

Parmi les points marquants :

- 94 % des répondants se disent satisfaits ou très satisfaits de l'accueil reçu dans leur laboratoire ;
- 90 % se déclarent satisfaits de la fréquence de leurs rencontres avec leur directeur de thèse ;
- 90% ont un comité de suivi ;
- 68% ont émis le souhait de s'orienter vers une activité de R&D.

93,5% recommanderaient PSL à d'autres étudiants pour faire une thèse.

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

CÉRÉMONIE DES DOCTEURS PSL

La deuxième cérémonie en l'honneur des docteurs PSL diplômés en 2018 s'est déroulée le 5 avril 2019, dans les locaux de l'Université Paris-Dauphine.

Parmi ces docteurs, 95 ont préparé leur doctorat à MINES ParisTech, soit 22% des diplômés PSL.

Cette cérémonie s'est déroulée sous l'égide de Mme Françoise Combes, docteure en astrophysique et marraine de cette promotion 2018. Elle était organisée autour de six sections disciplinaires, avec prise de paroles de grands témoins dans différents secteurs d'activité et de docteurs présents.



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. Akvo Energy, Artefact, Dassault Systèmes, Engie, Neoen, Renault, Thalès, Total, SNCF... : grands groupes et

PME de tous secteurs ont accueilli les élèves en 2019. 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 2019, Chili, États-Unis, Hong Kong, Inde, Maroc, Sénégal...).

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, innovation et entrepreneuriat, géosciences, *machine learning* et internet des objets étaient proposés en 2019.

UNE FORMATION SUR MESURE OUVERTE AU DOCTORAT

Un aménagement de la scolarité est permis pour les élèves qui souhaitent préparer un doctorat. En 2019, trois élèves en 2^e année suivent un master de recherche. Par ailleurs, trois élèves ont choisi

de démarrer un doctorat en économie, gestion ou informatique, dès la 1^{re} année, selon une modalité expérimentale.

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 avoir reçu un avis favorable de la Conférence des grandes écoles, à partir de la rentrée 2019, cette année d'enseignement devient diplômante : le Mastère spécialisé Business et Administration Publique.

En 2019, les ingénieurs-élèves ont réalisé un voyage d'études, en Chine, sur l'intelligence artificielle, qui a donné lieu à une restitution qui

a attiré près d'une centaine de personnes.

La 3^e année est aussi l'occasion d'un mémoire de fin d'étude sur un sujet de politiques publiques, d'économie ou intéressant l'entreprise. En juin 2019, une soirée dédiée, ouverte aux anciens élèves et personnels de l'École, a permis aux élèves de défendre leurs travaux devant l'ancienne ministre Axelle Lemaire. Des sujets comme les nouvelles mobilités, l'autoconsommation électrique, l'exception culturelle française, l'industrie spatiale, la deuxième vie des données ou l'hypersécurité ont conduit à des travaux passionnants, dont certains ont été publiés aux *Presses des Mines*.

DE GRANDS TÉMOINS

La 3^e année est enfin marquée par l'intervention de personnalités de premier plan, invitées par les élèves. En 2019, des responsables d'administration, comme Cédric Bourillet (directeur général de la prévention des risques), Thomas Courbe (directeur général des entreprises), Sébastien Soriano (président de l'ARCEP), Amélie Verdier (directrice du budget), Odile Renaud-Basso (directrice générale du Trésor), sont intervenus, de même que des chefs

d'entreprise, comme Xavier Niel (Free), Frédéric Oudéa (Société générale), Patrick Pouyanné (Total) ou encore des responsables politiques comme Amélie de Montchalin (secrétaire d'État chargée des Affaires européennes), Dominique de Villepin (ancien premier ministre) et Eric Woerth (député et président de la commission des Finances de l'Assemblée nationale).

ILS EN PARLENT ...



Voici deux ouvrages, issus des mémoires de fin d'études des ingénieurs-élèves, publiés aux *Presses des Mines* en 2019.

RETROUVEZ
LES TÉMOIGNAGES DE NOS ÉTUDIANTS
EN VIDÉO SUR
MINES-PARISTECH.FR



www.mines-paristech.fr/WebTV/

RAYONNER AU-DELÀ DE NOTRE SPHÈRE



Séminaire « Transformation numérique du secteur hospitalier », le 21 novembre 2019 à MINES ParisTech.

LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DU SECTEUR HOSPITALIER, UN ENJEU POUR LES MÉDECINS, UN DÉFI POUR LES INGÉNIEURS

Depuis plusieurs années, le secteur hospitalier est entré dans une phase de rationalisation et de transformation importante, que de nombreuses études du CGS MINES ParisTech ont pu étudier et accompagner.

Plusieurs réformes ont cherché à revoir le mode de fonctionnement des établissements hospitaliers, afin d'améliorer leur adaptation au nouveau contexte du secteur (vieillesse de la population, augmentation des maladies chroniques) et aux objectifs de maîtrise des dépenses de santé.

Dans ce cadre, l'un des enjeux majeurs repose sur une meilleure utilisation des ressources numériques introduites par les progrès technologiques et informatiques. C'est donc un véritable virage numérique que doivent réaliser les établissements. Deux grandes voies sont empruntées : l'amélioration des systèmes d'information, avec, par exemple, le remplacement des dossiers papier par des dossiers patients informatisés et, d'autre part, l'essor du *big data* et de l'intelligence artificielle en matière d'aide au diagnostic ou aux choix thérapeutiques.

Mais loin de ne constituer qu'une simple substitution ou une encapsulation de savoirs humains dans des systèmes numériques, l'enjeu est bien l'invention d'un nouveau système de soins, dans lequel la place et le rôle des différents acteurs sont revus.

Ces enjeux sont donc essentiels à maîtriser, et c'est dans ce cadre que plusieurs séminaires ont pu être organisés, notamment en partenariat avec l'AP-HP, pour aider les médecins à réfléchir à ces questions, qui peuvent remettre profondément en cause leur métier. Derrière ces sujets, on voit également se profiler l'émergence de la figure de l'ingénieur, dont le rôle sera peut-être fondamental pour aider à la construction d'une meilleure articulation entre le numérique et l'humain.

Contact :
Frédéric Kletz

1^{ÈRE} ÉDITION DU DATA SCIENCE DAY

Les chercheurs MINES ParisTech détiennent une expertise pointue en simulation numérique. Ils font de leurs outils des références dans leurs domaines (matériaux, procédés, énergétique, exploitation minière...), utilisés par les industriels dans le cadre d'actions de recherche partenariale.

Pour présenter leurs travaux et proposer une vision transversale et pluridisciplinaire de la « data science » et de ses enjeux pour les entreprises, MINES ParisTech a créé le Data Science Day.

Pas moins de 17 chercheurs des 5 Départements de recherche de MINES ParisTech ont présenté leur travaux, pendant 15 mn.

4 conférences plénières ont été données par des personnalités de renommée internationale :

- Pr. Charbel Farhat (Stanford University): A Physics-Based Alternative Approach to Digital Twins ;
- Pr. Francisco Chinesta (Ensam): Data-Driven Empowered Physics-Based Models ;
- Pr. Jean-Philippe Vert (Google AI): Learning from ranks and learning to rank ;
- Dir. Rech. Marc Schoenauer (Inria) : Algorithmes en sciences des données: validation, certification, transparence, et impacts sur la société.



Le mathématicien Marc Schoenauer, entouré de chercheurs de l'École, au Data Science Day à MINES ParisTech.

ENTRETIENS DE TOULOUSE : 12^È 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 10 et 11 avril 2019 à Toulouse, pour la 12^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 ».

- Fabien Moutarde, professeur au Centre de robotique MINES ParisTech, a parlé des « intelligences artificielles pour l'industrie : quel type pour quelle innovation ? »



FOCUS



SOCIÉTÉ
DE LÉGISLATION
COMPARÉE

DONNÉES DE SANTÉ ET COMPÉTITIVITÉ

QUELS DÉFIS POUR LA TECHNIQUE ET LE DROIT ?

Le 27 novembre 2019, la Société de législation comparée s'est associée à MINES ParisTech pour, face à ces problématiques majeures, réunir différents acteurs dans le but de partager expériences et visions et réfléchir de façon interactive à notre avenir commun.

Les données de santé et leurs multiples usages potentiels sont au cœur de nombreuses préoccupations éthiques et cliniques, mais aussi commerciales et compétitives dans un contexte d'économie globalisée :

- celles des scientifiques et cliniciens, qui peuvent désormais, pour des usages de recherche et de soins in situ ou à distance, traiter des masses de données complexes auparavant inaccessibles, inexploitable et intransférables ;
- celles des industriels des technologies de santé, des services digitalisés et naturellement des assureurs, qui ont perçu le déplacement de la création de valeur et de la puissance vers leur production, maîtrise et exploitation transverses ;
- celles des juristes et citoyens, qui s'interrogent sur la valeur de leurs données et sur l'effectivité des protections censées les couvrir, comme sur la portée d'algorithmes toujours plus sophistiqués et dynamiques ;
- celles des décideurs publics, tenus de permettre l'accès aux meilleurs soins, tout en protégeant les libertés publiques...

Ce colloque s'est déroulé en présence de Dominique Hascher, Christian Vigouroux, Quentin Soulet de Brugiere et Gérard Roucairol avec, notamment les interventions des chercheurs du CBIO MINES ParisTech, Chloé-Agathe Azencott et Thomas Walter.



Thomas Walter (au centre), directeur du CBIO MINES ParisTech au colloque "Données de santé et compétitivité".

RAYONNEMENT À L'INTERNATIONAL

Qu'il s'agisse de formation, de recherche ou des relations avec les entreprises et avec les alumni, l'ouverture à l'international constitue un élément essentiel de la stratégie de développement de MINES ParisTech. Se concentrer davantage sur certains établissements internationaux, tout en capitalisant sur les contacts et relations des enseignants-chercheurs, a été un des éléments structurants de cette politique en 2019.

ANCRAGE EN EUROPE

MINES ParisTech, coordonnatrice (pour ParisTech) du réseau d'échanges d'étudiants ATHENS (15 universités européennes et 7 universités parisiennes), est également très impliquée dans des programmes européens en faveur de l'enseignement et de la recherche.

Le domaine de l'énergie est propice. L'EUREC (*European Renewable Energy Council*) a élu l'un de nos enseignants-chercheurs, Andrea Michiorri, à son Conseil d'administration, en mai 2019. Ce réseau, composé de 38 membres, dédié aux énergies renouvelables, a créé, en 2002, le Mastère spécialisé "Énergies renouvelables" (ENR). Un autre partenariat stratégique autour des Smart Grids a émergé au sein de l'EERA (*European Energy Research Alliance*) avec un financement de 441 K€.

D'autres projets en faveur de l'éducation supérieure en Europe mobilisent l'École, dans le cadre du programme Erasmus +. Ainsi, 2019 a vu l'engagement de MINES ParisTech pour développer l'impact sociétal du doctorat en Europe, à travers le projet IDEAL. Ce projet, réunissant dix partenaires du réseau ATHENS, est financé par la Commission européenne (Action : partenariats stratégiques – 358 K€). L'École a également été lauréate d'un appel à projets, Erasmus +, Mobilité de crédits, qui a pour but de contribuer au rayonnement de l'enseignement européen aux États-Unis, au Liban et en Ukraine (260 K€). Cette intégration au niveau européen se joue aussi au niveau PSL. Aux côtés de Chimie ParisTech et d'autres établissements PSL, nous concourons pour la mise en place d'une université européenne nommée « EELISA ». 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.

ParisTech



ATTRACTIVITÉ DE NOS FORMATIONS

En priorisant nos bassins de recrutement et en misant sur les liens étroits que nous avons construits avec nos partenaires, l'admission des étudiants internationaux dans nos formations a encore progressé. Dans le cycle Ingénieur civil, les admissions en double diplôme (Argentine, Brésil, Canada, Chine, Colombie, Espagne, Italie, Liban, Tunisie) affichent une augmentation de plus de 80 % depuis ces quatre dernières années, et cela sans nuire à la qualité des recrutements (nous recrutons en moyenne des

étudiants classés dans le 10% de leur promotion). Les masters PSL Énergie et Matériaux, dont MINES ParisTech est l'opérateur, accueillent 58 % d'étudiants internationaux. Nos 15 Mastères spécialisés, dont 6 sont en anglais, ont vocation à accueillir largement des étudiants internationaux, dont le pourcentage se monte à 37 %. La formation doctorale affiche, quant à elle, un pourcentage de 43 % d'étudiants internationaux recrutés (incluant des étudiants en cotutelle et des doctorants visiteurs).

L'appui de la Fondation de Mines ParisTech (et les dons d'entreprises et de donateurs privés), le soutien de nos partenaires industriels, via les chaires, et les subventions européennes et régionales obtenues en 2019 ont largement facilité cette progression. Si bien qu'en 2019 (comme en 2018), 80 % des élèves internationaux admis à l'école et 50 % des élèves en mobilité internationale à l'étranger ont bénéficié d'une aide ou bourse de mobilité (cf. p. 48).

SE FORMER À L'INTERNATIONAL - LES DOUBLES DIPLÔMES

Confronter nos étudiants à l'international est au centre de nos préoccupations pédagogiques. Dans chacune de nos formations, les possibilités offertes à nos élèves sont multiples.

Au sein de notre formation en apprentissage, de nos Masters et Mastères spécialisés, les exemples sont nombreux : stages de recherche à Malte et en Slovaquie pour les ingénieurs d'Isupfere, participation aux « EUREC Presentations days », à Bruxelles, et réalisation de semestres d'échange en Espagne, au Portugal et au Royaume-Uni pour les étudiants du Mastère ENR ; semestre à Tsinghua University (Chine), dans le cadre de nos Mastères spécialisés franco-chinois, ENVIM et ALEF, etc.

Dans le cycle ingénieur, l'ensemble des élèves effectuent environ 10 mois à l'étranger au cours de leur scolarité, à travers :

- 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.

En 2019, 82% des ingénieurs civils ont effectué une césure à l'international et 6 étudiants étaient en cours de double diplomation (Oxford, Cambridge, Turin, Milan et Londres).

Voici le témoignage de l'un d'entre eux :

« J'effectue un MBA (*Master of Business Administration*) au Collège des ingénieurs de Turin. Cette expérience me permet d'étendre ma compréhension de l'univers qui nous entoure, en passant d'une connaissance scientifique et technique à un entendement managérial des organisations. Par ailleurs, ce double-diplôme m'offre l'opportunité d'avoir une expérience professionnelle en tant que consultant dans un cabinet de conseil en innovation, mettant en lumière le rôle crucial que joue l'innovation dans notre société moderne. » **(Raphaël Sanchez, en double-diplôme au Collège des ingénieurs de Turin).**



LA RECHERCHE À L'INTERNATIONAL - LES CLASSEMENTS PSL

Au-delà de la sphère européenne, la réputation d'excellence de MINES ParisTech, notamment au niveau de la recherche, franchit les frontières. De nombreuses collaborations avec les meilleurs laboratoires étrangers se sont nouées sur des thématiques de recherche, relevant tant des disciplines de l'ingénierie et des « sciences dures » que des sciences humaines et sociales. Les activités de prospection et de partenariat international au sein de PSL permettent d'atteindre et de mettre en place des accords-cadres avec les plus prestigieux établissements américains et anglais (notamment Berkeley, NYU, Columbia, Cambridge), ainsi qu'avec des acteurs industriels et agences de rang mondial (Naval Systems, ESA).

Les places obtenues par notre Université PSL dans les classements internationaux, qui lui ont permis de se hisser 1^{er} établissement français (45^e position mondiale du *THE World University Ranking*, 53^e position mondiale au *QS Ranking*, incarnent aussi ce rayonnement. En effet, MINES ParisTech peut se prévaloir d'avoir concouru à ces excellents résultats, comme le démontrent certains des classements par sujets : 19^e, au QS, en *Mineral & Mining Engineering*, 77^e (THE) en *Engineering & Technology*, 86^e (US News) en *Environment & Ecology*, 14^e (QS) en *Mathematics*, 99^e (US News) en *Materials Sciences*.



NOUVEAUX PROJETS EUROPÉENS DANS LE DOMAINE DE L'ÉNERGIE

• **E-shape** (*EuroGEO Showcases: Applications Powered by Europe*) vise à renforcer les bénéfices du système global des systèmes d'observations de la Terre pour l'Europe. Coordonné par **Thierry Ranchin** (O.I.E MINES ParisTech). ce projet va promouvoir le développement et l'adoption par les utilisateurs de 27 applications pilotes fondées sur le *Cloud*, répondant aux objectifs de développement durable de l'accord de Paris sur le Climat.

• **Smart4RES**, coordonné par **Georges Kariniotakis** (Persée MINES ParisTech), vise à améliorer la prévision des énergies renouvelables et leur intégration dans le système électrique. Déployé jusqu'en 2023, Smart4RES a pour objectif de proposer une nouvelle génération de modèles de prévision à court-terme de la production des centrales renouvelables (éoliennes, photovoltaïques, hydrauliques), dans le but de faciliter leur intégration à grande échelle dans les systèmes électriques et les marchés d'électricité.

35%

d'étudiants de nationalité étrangère, toutes formations confondues

42%

de doctorants de nationalité étrangère

32%

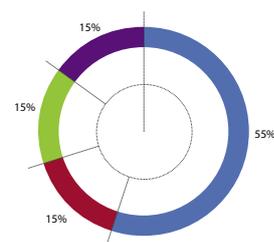
d'étudiants internationaux en Mastère spécialisé

15%

des enseignants-chercheurs recrutés à l'étranger

100%

des étudiants font un stage à l'international



Destination stages en entreprise à l'international en 2019

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, 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 460 titres sont à leur catalogue (dont 42 nouveaux titres en 2019).



LE MUSÉE DE MINÉRALOGIE: ILLUMINATIONS ET ANNÉE INTERNATIONALE

2019 a été marquée par une opération, financée par la Fondation Mines ParisTech, d'aménagement d'un éclairage pour les 138 vitrines de la collection systématique. Ces travaux de grande ampleur ont duré près de 4 mois - avec 3 000 minéraux déplacés, reclassés, ré-étiquetés et une nouvelle présentation instaurée. En parallèle, trois vitrines de gemmes ont été complètement refondues, enrichies d'un nouveau don d'un rubis de 4 carats du Mozambique.

Le Musée n'en a pas pour autant diminué son activité, avec trois prêts pour des expositions - dont celle du Muséum de Nantes, « Retour d'Orient : soie, épices et pierres précieuses », ayant accueilli 120 000 visiteurs -, et la création d'une exposition sur les météorites et sur leurs donateurs. Il a, par ailleurs, reçu le label Unesco,

« Année internationale du tableau périodique des éléments », pour l'accueil de l'exposition « Avant Mendeleïev », créée par la Bibliothèque de MINES ParisTech ; la publication d'un livre et d'un poster ; et la réalisation d'une série de vidéos et de conférences centrées sur le thème des éléments et de la minéralogie.

N'oublions pas les actions de partage du savoir scientifique et de médiation culturelle, grâce aux *Portes ouvertes* et aux nombreuses actions sur les réseaux sociaux (vidéos et contenus éducatifs). L'équipe du musée développe également des cours, ayant pour support les trésors du musée, et accueille toujours plus de groupes, à la demande de MINES ParisTech et de PSL.

LA BIBLIOTHÈQUE AU SERVICE DE LA COMMUNAUTÉ DE L'ÉCOLE

Chercheurs, étudiants et grand public ont bénéficié de l'activité intense de la bibliothèque en 2019.

Services aux chercheurs

- Contrôle qualité de l'archive ouverte HAL-MINES, vitrine de la recherche de MINES ParisTech –PSL : 1614 publications référencées en 2019.
- Conseils et débats autour des publications et des données de la recherche : séminaire « Mentoring des jeunes chercheurs », en janvier 2019 ; interventions dans l'école doctorale Ismme sur l'éthique et la visibilité, en février et juin 2019, et interventions en Commission de la recherche sur les données de la recherche et sur les métriques, en juin et décembre 2019.

Services aux étudiants

- 194 heures de formations à la recherche d'information dispensées en 2019.
- Participation au Hack@MINES, dans le cadre de la réflexion sur la réforme du cycle de formation des ingénieurs civils.

Services culturels pour tous

- De belles expositions autour de notre patrimoine : « Le Grand tour industriel, les élèves de l'École des mines en Scandinavie », dans le cadre du *Festival de l'Histoire de l'Art de Fontainebleau*, et « Avant Mendeleïev : genèse

d'un tableau », exposition à la bibliothèque et au musée, dans le cadre de l'*Année internationale des éléments*, proposée par l'Unesco.

- Des conférences autour de l'interculturalité : rencontre avec l'auteure japonaise Yoko Tawada (avec lecture trilingue français, allemand et japonais de ses textes) et rencontre autour des « enjeux de la traduction scientifique », animée par Bernard Banoun, avec Patrice Bret et Jean Mosconi.



LA DSI ACCOMPAGNE LA RÉALISATION DES PROJETS AUDIOVISUELS À VOCATION PÉDAGOGIQUE

Une riche production audiovisuelle a marqué l'année 2019. L'équipe TICE* a travaillé sur trois projets. Son savoir faire a été reconnu à l'international grâce à la nomination comme finaliste aux MEDEA Awards du site pédagogique réalisé pour le cours « Couleurs, Arts, Industrie », porté par Jesus Angulo Lopez et Eloïse Gaillou et initié par Béatrice Avakian. Ce site, co-financé par PSL, accompagne la semaine de cours par des ressources multimédia produites spécifiquement.

Le second projet a permis de travailler avec le Centre de thermodynamique des procédés sur la réalisation de vidéos pour le MOOC « Thermodynamique expérimentale ». En plus des vidéos de cours, enrichies d'animations et de schémas, de nombreux enregistrements ont été réalisés pour présenter en détail les expériences.

Enfin, le dernier projet a été conduit pour le compte de l'IHEIE (certificat « Intelligence artificielle »).

En tout, 56 vidéos, dont 15 interviews, ont été produites, pour un total de 9 heures. Ces vidéos ont intégralement été tournées dans le studio de MINES ParisTech, et une démarche originale a été développée lors du montage pour s'assurer de la cohérence.

* Technologies de l'information et des communications pour l'enseignement



Vidéos, podcasts, animations, quiz enrichissent le cours « Couleurs, Arts, Industrie ».



Des animations permettent aux apprenants de manipuler virtuellement les dispositifs expérimentaux présentés dans le MOOC « Thermodynamique expérimentale ».

PRESSES DES MINES : « VALORISER ET DIFFUSER »

Les *Presse 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.presse-des-mines.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.

« ÉGALITÉ DES CHANCES » : DES BOURSES OFFERTES PAR LA FONDATION

Le soutien aux étudiants est l'une des priorités de la Fondation Mines ParisTech, qui accompagne l'École dans son développement et dans la mise en œuvre de son plan stratégique. Son programme de bourses, « Égalité des chances », permet à tous les étudiants talentueux de venir étudier à MINES ParisTech et de se concentrer sur leur scolarité. Ces bourses sont, par ailleurs, un facteur d'attractivité fort pour l'École, en France et à l'international.

Voici le témoignage d'une étudiante, **Marina El Khoury**, qui a bénéficié d'une bourse

« Cette bourse est importante parce qu'elle permet de quitter son pays ; d'être indépendant financièrement dans ses besoins quotidiens. (...) Pour moi, c'était vraiment essentiel d'avoir cette bourse ; c'était l'un des facteurs qui m'a permis de venir. Si je peux plus tard aider des mineurs, je le ferai ! L'École des Mines fait partie des meilleures expériences de ma vie. »

Depuis deux ans, la Fondation accompagne également l'École sur un projet très précis : les doubles diplômes. MINES ParisTech propose aux étudiants d'effectuer un double diplôme, à l'issue de leur seconde année du cycle Ingénieur civil, dans les écoles et universités partenaires internationales. Pour éviter les effets de seuil et pour permettre aux étudiants de choisir l'institution la plus pertinente pour leur projet professionnel, la Fondation leur propose une aide financière. Ces doubles diplômes contribuent à l'internationalisation de la formation des étudiants et à l'acquisition de nouvelles compétences.

Ces bourses et ces aides, vitales pour nos étudiants, sont financées à 100 % par les dons des alumni et des amis de l'École.

En 2019, la Fondation a versé 295 000€ d'aides aux étudiants : bourses, remboursements de frais Athens, aides à la mobilité internationales et subventions diverses.



UN « CLASSGIFT » DE 50 000 € EN FAVEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Organisé par les élèves de la promotion P17 du cycle Ingénieur civil, sous le parrainage d'Éric Férreol (P87), le *ClassGift*, ou don de promotion, s'est traduit par la remise d'un chèque de 50 617 €. Dans la lignée du plan stratégique de l'École, cette édition, portait, pour la première fois, autour du thème de la transition énergétique et avait pour objectif de mener un projet qui tient à cœur aux élèves : l'installation de panneaux solaires thermiques sur le toit de la Maison des mines (la résidence des étudiants).

L'objectif, fixé par les étudiants, a pu être atteint, grâce à une mobilisation historique avec un taux de participation de la promotion 2017 (P17) de 93 % d'élèves du cycle Ingénieur civil, rejoints par ceux du cycle ISUPFERE et ceux du Corps des mines. Des anciens des promotions en 7 ont très généreusement contribué à ce *ClassGift*, grâce à l'action efficace de Robert Brunck, Président de la campagne de levée de fonds 2014-2018 de l'École.



L'équipe du GlassGift, entourant Emmanuelle Wargon (au centre), secrétaire d'État chargée de l'écologie,

SE DÉPLOYER POUR RELEVER LES DÉFIS DE DEMAIN

p.50
UNE ORGANISATION
DYNAMIQUE

p.51
MOYENS
FINANCIERS

p.52-53
LES EFFECTIFS

p.54
CONSEIL
D'ADMINISTRATION

p.55
ORGANIGRAMME

SOMMAIRE

UNE ORGANISATION DYNAMIQUE

FOCUS



LABEL RENOUVÉLÉ ET NOUVEAU PÉRIMÈTRE D'ACTION

MINES ParisTech évolue dans l'écosystème Carnot depuis la création du label en 2016. C'est donc avec une immense satisfaction que l'École a vu le renouvellement de l'institut Carnot M.I.N.E.S pour la période 2020-2023. En effet, le label Carnot reconnaît la capacité des écoles du Carnot M.I.N.E.S à mettre la recherche partenariale avec les entreprises au cœur de leur stratégie.

Cette nouvelle période de labellisation est l'occasion pour le Carnot M.I.N.E.S d'élargir son périmètre. Aux côtés de MINES ParisTech, des écoles des mines rattachées à l'Institut Mines Télécom, de l'École polytechnique, de l'Ensta Paris et d'Armines, figure désormais l'école SIGMA Clermont. L'Unité de mécanique de l'Ensta vient également élargir notre offre de compétences.

En 2019, le Carnot M.I.N.E.S a focalisé ses moyens de ressource scientifique sur un projet ambitieux dédié à l'hydrogène. Objectif : fédérer la recherche de ses laboratoires pour proposer aux entreprises des compétences couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur de la filière (production, stockage/distribution et utilisation). En complément de ses compétences technologiques, le Carnot M.I.N.E.S œuvre aussi au développement de cette nouvelle filière énergétique, en mobilisant des expertises transversales en développement durable : analyse des risques, des cycles de vie, études sur les controverses, et débats autour de l'utilisation de l'hydrogène...

> en savoir +
www.carnot-mines.eu

LA DGS : UNE NOUVELLE DIRECTION POUR RENFORCER LA CAPACITÉ D'ACTION

Il y a un an, la direction a entamé une réflexion sur l'évolution de l'organisation de l'École, qui comprenait un projet de création d'une nouvelle direction portant tous les services supports.

Cette nouvelle direction, appelée direction de la gestion et des services (DGS), a pour objectif principal de renforcer la bonne prise en compte des attentes des usagers dans toutes les décisions d'ordre organisationnel, dans la préparation des décisions relatives aux ressources (humaines, financières, informatiques) ainsi que dans la conduite des projets.

Par exemple, plusieurs chantiers, en cours ou en réflexion, mobilisent et/ou impactent à la fois les fonctions supports et les directions opérationnelles (calcul scientifique, projet Satory, gestion prévisionnelle des emplois et des compétences, plan Qualité de vie au travail, mise en œuvre des nouveaux statuts Établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel (EPSCP) et passage aux responsabilités et compétences élargies en 2021, comptabilité analytique, système d'information de gestion des ressources humaines, etc.).

Il s'agit par ailleurs d'être cohérent avec l'organisation de PSL.



ARMINES CONFIRME SON RÔLE DE PARTENAIRE STRATÉGIQUE DE L'ÉCOLE

ARMINES, première structure de recherche contractuelle de statut privé en France, accompagne depuis plus de 50 ans l'ambition de MINES ParisTech d'être le fer de lance de la recherche partenariale en France, où une démarche scientifique d'excellence se confronte en permanence aux besoins du monde socio-économique et y apporte des réponses qui ont un impact concret pour la société et les citoyens.

Avec ses 230 salariés de toutes catégories, dont près de 70 doctorants, au sein de ses centres de recherche communs avec MINES ParisTech, ARMINES a contribué en 2019, pour près de 23M€ et plus de 1100 contrats actifs, aux moyens respectifs mis à disposition de leur programme de collaboration.

ARMINES partage l'ambition de MINES ParisTech d'une toujours plus grande ouverture à l'international, qui se traduit par la mobilisation de son expertise en ingénierie contractuelle des projets européens Horizon2020. 2019 a été une année exceptionnelle à ce titre avec l'obtention de trois projets en coordination dans les domaines phares des transitions énergétique, environnementale et numérique :

- e-shape (O.I.E/CGS), pour renforcer les bénéfices du système global des systèmes d'observations de la Terre pour l'Europe (cf. p. 45) ;
- Smart4RES (PERSEE), sur l'utilisation des *Data Sciences* pour la prédiction de la production des énergies renouvelables (cf. p. 45) ;
- Bourse ERC ECLIPSE de Zaki Leghtas (CAS) sur l'ordinateur quantique (cf. p. 28).

> en savoir +
www.armines.net



Les membres du projet H2020 e-Shape, lors de son lancement, les 9 et 10 mai 2019, à Cannes.

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	2018 réalisé	2019 réalisé	2020 prévisionnel
Dotation du ministère*	47,8	47,5	47,3
Ressources propres	9,1	9,6	9,4
Total	56,9	57,1	56,7

* dont masse salariale État et dotation à l'EPA

PARTENAIRES

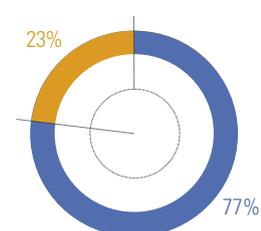
Armines	22,9	23,1	23,3
Fondation	3,1	3,1	3,1
CNRS	2,2	2,2	2,2
Autres	6,6	6,6	6,6
Total Partenaires	34,8	35	35,2
Total Consolidé	91,7	92,1	91,9

DÉPENSES ÉCOLE	2018 réalisé	2019 réalisé	2020 prévisionnel
Personnel	42,9	42	42,6
Fonctionnement et investissement	15,8	15,6	15,4
Total	58,7	57,6	58

LES DÉPENSES

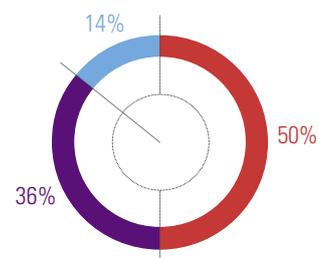
Les dépenses sont présentées selon une vision agrégée (École + partenaires)

RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ



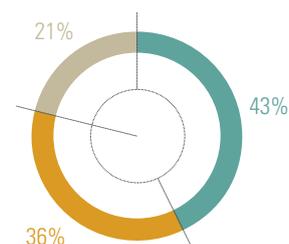
- Recherche
- Enseignement

RECHERCHE



- Sur financement privé
- Sur financement public
- Sur fonds propres

ENSEIGNEMENT



- Cycle Ingénieur civil
- Mastères spécialisés
- Autres formations

LES EFFECTIFS AU 31 DÉCEMBRE 2019

	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)	48	48				48			
Direction du Corps des mines	4	3		1		3	1		4
Direction de l'Enseignement (DirEns)	28	28				28			
Direction de la Recherche (DR)	7	7				7			
Délégation Paris	17	17				17			
Délégation Fontainebleau	10	10				10			
Délégation Sophia Antipolis	9	9				9			
Délégation Évry	4	4				4			
SOUS-TOTAL	127	126	-	1	-	126	5	-	-
SERVICES COMMUNS									
Direction des systèmes d'information (DSI)	24	21	2	1		24			
Bibliothèque	19	18	1			19			
Musée de minéralogie	4	4				4			
SOUS-TOTAL	47	43	3	1	-	47	-	-	-
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT									
Géosciences	97	51	31	15	41	23	30	3	
SOUS-TOTAL	97	51	31	15	41	23	30	3	-
ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS									
Efficacité énergétique des systèmes (CES)	66	21	23	22	12	19	32	3	
Thermodynamique des procédés (CTP)	24	13	7	4	5	10	9		
Procédés, énergies renouvelables et systèmes énergétiques (Persée)	43	20	15	8	12	12	16	3	
Observations, impacts, énergie (DIE)	14	9	4	1	7	3	4		
SOUS-TOTAL	147	63	49	35	36	44	61	6	-
MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX									
Mise en forme des matériaux (Cemef)	130	47	44	39	31	29	63	7	4
Matériaux (MAT)	173	51	50	72	33	46	88	6	13
Mécanique des solides (LMS) ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOUS-TOTAL (HORS LMS)	303	98	94	111	64	75	151	13	17
MATHÉMATIQUES ET SYSTÈMES									
Centre de robotique (CAOR)	41	23	9	9	12	12	15	2	
Automatique & systèmes (CAS)	36	13	1	22	8	3	24	1	
Mathématiques appliquées (CMA)	25	13	6	6	10	4	11		
Morphologie mathématique (CMM)	21	12	2	7	8	3	10		
Recherche en informatique (CRI)	13	10		3	6	2	5		
Bio-informatique (CBIO)	18	7	5	6	3	3	12		
SOUS-TOTAL	154	78	23	53	47	27	77	3	-
ÉCONOMIE, MANAGEMENT, SOCIÉTÉ									
Économie industrielle (Cerna)	30	12	3	15	7	2	19	2	
Gestion scientifique (CGS)	51	25	8	18	13	6	29	3	
Risques et crises (CRC)	19	12	4	3	8	4	7		
Sociologie de l'innovation (CSI)	33	9	5	19	11	4	17	1	5
SOUS-TOTAL	133	58	20	55	39	16	72	6	5
INSTITUTS DE FORMATION - POLLEN									
Institut des hautes études pour l'innovation et l'entrepreneuriat (IHEIE)	5	5				5			
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	15	14	1	-	5	9	-	1	-
TOTAL GÉNÉRAL	1023	531	221	271	232	367	392	32	26

⁽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	2018/2019	2019/2020	Femmes	Étrangers	Diplômes 2019
INGÉNIEURS CIVILS (IC)		3 ans	611	655	28%	15%	190
1 ^{re} année			124	125	30%	3%	-
2 ^e année			154	164	30%	24%	-
Scolarité personnalisée (entreprises à l'étranger)			101	120	25%	12%	-
Scolarité personnalisée (double diplôme étranger)			4	1	0%	0%	-
3 ^e année			177	194	24%	18%	-
Fin de scolarité ⁽¹⁾			51	51	37%	14%	190
INGÉNIEURS DE SPÉCIALITÉ (IST) - MINES PARISTECH		3 ans	69	73	18%	3%	2
1 ^{re} année (apprentis seuls)			18	18	28%	6%	-
2 ^e année (apprentis)			18	18	22%	-	-
3 ^e année (apprentis)			15	18	17%	-	-
2 ^e année (fc)			9	10	-	10%	-
3 ^e année (fc)			9	9	11%	-	2
MASTERS PSL & MINES PARISTECH		2 ans	58	69	35%	58%	44
Énergie-PSL M1			4	9	33%	67%	-
Énergie PSL M2			22	32	34%	78%	22
Sciences et génie des matériaux PSL M1			9	5	40%	80%	-
Sciences et génie des matériaux PSL M2			23	23	35%	22%	22
MASTÈRES SPÉCIALISÉS ET FORMATIONS SPÉCIALISÉES		9-24 mois	240	272	36%	37%	228
AI-MOVE (Intelligence artificielle)			4	7	29%	14%	4
Management international de l'énergie (ALEF)			17	18	28%	39%	17
Formation spécialisée Géostatistique (CFSG)			2	6	0%	100%	3
Design des matériaux et des structures (DMS)			12	12	33%	67%	11
Deep Tech Entrepreneur (DTE)			4	0	0%	0%	4
Énergies renouvelables (ENR)			15	13	15%	15%	15
Management international de l'environnement (ENVIM- Asie)			21	17	41%	65%	19
Management international de l'environnement (ENVIM- Europe)			2	2	50%	50%	-
Ingénierie et gestion du gaz (GAZ)			11	12	58%	67%	11
Calcul intensif et Intelligence artificielle (HPC-AI)			0	7	29%	86%	-
Ingénierie et gestion de l'environnement (IGE)			26	30	63%	3%	26
Matériaux, procédés de fabrication et modélisation (MAPMOD)			7	3	0%	67%	7
Management industriel et excellence opérationnelle (MILÉO)			-	7	14%	100%	-
Industrie des ressources minérales & société (MIRIS)			9	14	7%	86%	7
Management industriel & systèmes logistiques (MISL)			12	18	11%	56%	11
Maîtrise des risques industriels (MRI)			32	36	31%	22%	31
Executive MS Management strat. de l'info. et des technologies (MSIT) ⁽²⁾			19	23	39%	9%	17
Optimisation des systèmes énergétiques (OSE)			21	17	18%	47%	21
Executive MS RSE et développement durable (RSE-DD)			26	30	70%	-	24
DOCTORAT PSL PRÉPARÉ À MINES PARISTECH		3 ans	383	392	29%	43%	83
1 ^{re} année			118	107	33%	46%	-
2 ^e année			91	115	30%	46%	-
3 ^e année			95	86	19%	33%	29
Prolongation			79	84	31%	44%	54
CORPS DES MINES		3 ans	48	44	20%	-	14
1 ^{re} année			14	14	7%	-	-
2 ^e année			15	14	21%	-	-
3 ^e année			19	16	31%	-	14
TOTAL ÉCOLE (DÉFINITION DU COP) ⁽⁶⁾			1 409	1 505	29%	27%	561
BADGE ACCRÉDITÉS PAR LA CGE		10-12 mois	77	28	32%	36%	19
Management hospitalier (MA-HOS) session 1			42	8	50%	12%	-
Management hospitalier (MA-HOS) session 2			15	-	-	-	-
Régulation de l'énergie (RDE)			20	20	15%	60%	19
PARISTECH SHANGHAI JIAO TONG (INGÉNIEUR SPEIT 1A-2A-3A-4A-5A-6A) ⁽⁴⁾		12 mois	459	497	34%	98%	47
MASTERS CARE AVEC HUST		10-12 mois	262	336	33%	56%	132
CARE Énergie Propre et renouvelable - M1			84	79	33%	100%	-
CARE Énergie Propre et renouvelable - M2			91	72	38%	100%	-
CARE Énergie Propre et renouvelable - M3			79	72	47%	100%	-
TOTAL GÉNÉRAL			2 205	2 366	32%	60%	759

⁽¹⁾ Doubles diplômes ESPCI Paris, Polytechniciens et Normaliens

⁽²⁾ Mastère en collaboration avec HEC

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

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

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Président

Jacques ASCHENBROICH

Président directeur général de Valeo

Personnalités nommées par le ministre chargé de l'Industrie

Gabrielle BUGAT

Senior vice-présidente, GIESCKE & DEVRIENT Mobile Security

Paul DUPHIL

Président de MINES ParisTech Alumni
Secrétaire général, OPPBTP

Jean-Christophe MIESZALA

Directeur général, McKINSEY France

Jean-Yves NAOURI

Personnalité qualifiée

Sophie RÉMONT

Directrice de l'expertise et des programmes Bpifrance

Ulrike STEINHORST

Personnalité qualifiée

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

Alain BERNARD

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

Pascal FAURE

Directeur général de l'Inpi

Laurent MICHEL

Directeur général de l'énergie et du climat
Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

Sophie MOURLON

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

Mylène ORANGE-LOUBOUTIN

Secrétaire générale adjointe des ministères économiques et financiers

Représentants des collectivités territoriales de la région Île-de- France désignés par le ministre chargé de l'Industrie

Marie-Christine LEMARDELEY

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

Véronique VEAU

Conseillère départementale du canton de Saint-Fargeau-Ponthierry
Conseil départemental de Seine-et-Marne

Représentants des personnels de MINES ParisTech

Madeleine AKRICH

Directrice de recherche, Centre de sociologie de l'innovation (Paris)

Daniel PINO MUNOZ

Enseignant-chercheur, Centre de mise en forme des matériaux (Sophia Antipolis)

Frédérique SOUVERAIN

Responsable logistique (Délégation de Paris)

Représentants des élèves de MINES ParisTech

Hubert MÉNOU

au titre des élèves-chercheurs, Centre automatique et systèmes

Antoine GOUTALAND

au titre des élèves titulaires ou stagiaires, en formation continue ou en spécialisation diplômante

Damien LANASPEZE

au titre des élèves titulaires ou stagiaires, en formation continue ou en spécialisation diplômante

Représentant de Paris Sciences & Lettres (voix consultative)

Alain FUCHS

Président de l'université Paris Sciences & Lettres

Représentant de l'Institut Mines- Télécom (voix consultative)

Odile Gauthier

Directrice générale
Institut Mines-Télécom

Assistent avec voix consultative

Vincent LAFLECHE

Directeur général, MINES ParisTech

Hélène Le Du

Directrice-adjointe de MINES ParisTech

Jérôme ADNOT

Directeur-adjoint de MINES ParisTech
Chargé de l'enseignement

Antoine DELATTRE

Directeur des affaires financières de MINES ParisTech

Alain GIRARD

Secrétaire général de MINES ParisTech

Catherine LAGNEAU

Directrice-adjointe de MINES ParisTech
Chargée de la formation du Corps des mines

Yannick VIMONT

Directeur-adjoint de MINES ParisTech
Chargé de la recherche

Christine BUHL

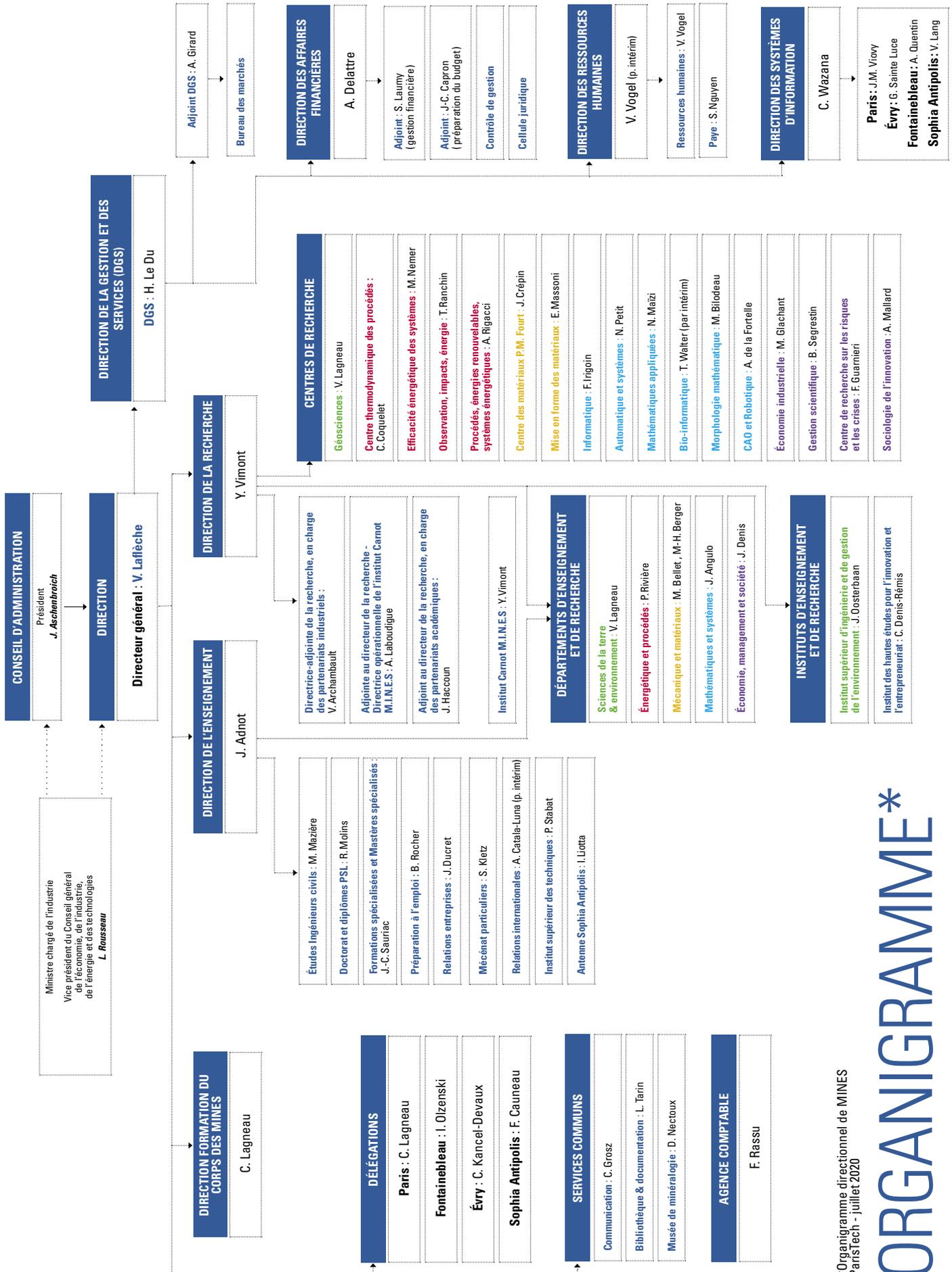
Contrôleur budgétaire et comptable ministériel, Ministère de l'économie et des finances

Franck RASSU

Agent comptable de MINES ParisTech

Olivier BAUJARD

Président du CA d'Armines



* Organigramme directionnel de MINES ParisTech - juillet 2020

ORGANIGRAMME*