



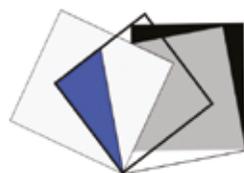
Rapport
d'activité

2024

Les temps forts de 2024

Mines Paris – PSL lance le « Bauhaus des Transitions »

pour mieux appréhender les inconnus des transitions (voir page 9)



BAUHAUS DES
TRANSITIONS
GÉRER L'INCONNU



2 nouveaux accords-cadres pour Mines Paris – PSL: avec RTE, pour un avenir énergétique durable et responsable et avec Monolith, pour le développement des procédés par plasma thermique (voir page 15)

Grand prix Carnot pour IMT Mines Albi et HYCCO (voir page 13)



Mines Paris – PSL et PREVENTEO célèbrent 20 ans de R&D au bénéfice de la prévention des risques en entreprise



Signature d'un partenariat entre EDF et MINES Saint-Étienne



Le Carnot M.I.N.E.S publie le livre blanc « Produire, stocker et utiliser l'hydrogène », fruit de son projet phare HyTREND



CIMES
Critical Infrastructures Model-based
system Engineering and early
verification and validation by Simulation

Chaire CIMES IMT Mines Alès - Assystem
(voir page 14)

Photo de couverture:
Modélisation de la tenue en fatigue à haute température d'aciers moulés austénitiques: application au dimensionnement des turbocompresseurs, thèse de Zeineb MESKINE sous la direction de Vincent MAUREL, Centre des Matériaux, Mines Paris - PSL.
Crédit: © Antoine Debray

Le Carnot M.I.N.E.S, une dynamique à double impact

Édito

L'année écoulée a été l'occasion d'évaluer la pertinence des orientations stratégiques suivies ces quatre dernières années par le Carnot M.I.N.E.S. Le choix de consacrer 70 % de l'abondement Carnot au ressourcement scientifique des centres de recherche de nos Écoles s'est révélé judicieux. Ainsi, les 10 millions d'euros investis entre 2020 et 2023 ont d'ores et déjà permis la publication de 63 articles de rang A mais également d'enregistrer la signature de 77 nouveaux contrats de recherche partenariale, pour un montant de 14,1 M€ (voir p. 7).

Ces retombées illustrent la volonté du Carnot M.I.N.E.S de soutenir une recherche à double impact, tant académique qu'industrielle. Surtout, elles participent à la dynamique positive de nos Écoles membres, permettant au Carnot M.I.N.E.S d'enregistrer une croissance régulière de son activité de recherche contractuelle directe, en phase avec ses objectifs.

Des relations renouvelées avec des partenaires historiques dans le domaine de l'hydrogène témoignent de cette dynamique: la collaboration exemplaire entre IMT Mines Albi et HYCCO, mise en lumière par le prix Carnot 2024 (voir p. 13), ou celle entre le centre PERSEE et l'entreprise américaine Monolith (voir p. 15). Nous observons également une augmentation du nombre de thèses CIFRE, dispositif phare de la recherche à double impact, en collaboration avec de nouveaux partenaires dont des PME et ETI.

Le Carnot M.I.N.E.S s'inscrit résolument dans une démarche d'accompagnement des grandes transitions, en soutenant des filières stratégiques pour la France. Lesancements d'un « Bauhaus des Transitions » (voir p. 9) et du projet phare AVICAR, consacré à l'aviation décarbonée (voir p. 10) en sont deux exemples marquants. Ce positionnement s'appuie sur un modèle unique qui conjugue la culture du « *problem solving* » et la capacité d'adaptation des écoles d'ingénieur, tout en intégrant une dimension de responsabilité sociétale qui marque l'ADN du Carnot M.I.N.E.S.

Ces résultats et réalisations permettent aujourd'hui de valider la stratégie menée au cours des dernières années. Ils renforcent d'autant l'ambition du Carnot M.I.N.E.S de soutenir efficacement ses Écoles membres et leurs partenaires du monde socio-économique, au bénéfice de l'innovation, de la compétitivité et de la connaissance scientifique.



Agnès Laboudigue
Directrice du Carnot M.I.N.E.S

Gouvernance

Directrice

Agnès Laboudigue

Directeurs adjoints

David Delafosse

Éric Weiland

Responsable administrative et financière

Anne Piant

Le partenaire R&D des entreprises

C'est pour accompagner les entreprises dans leur démarche d'innovation que neuf des plus prestigieuses écoles d'ingénieurs françaises (Mines Paris – PSL, cinq écoles des Mines intégrées à l'IMT, l'École polytechnique, l'ENSTA Paris et Clermont Auvergne INP) ont fédéré leurs laboratoires de recherche au sein du Carnot M.I.N.E.S, une structure dédiée à la recherche partenariale avec les entreprises. Ces laboratoires, parmi lesquels nombre d'UMR CNRS, s'appuient sur l'association ARMINES pour développer leur recherche sur contrats.

44

centres
de recherche

1960

publications
scientifiques
de rang A par an

1950

personnels de recherche dont :

450 enseignants-chercheurs

430 ingénieurs et techniciens de recherche

910 doctorants (dont 205 CIFRE)

160 post-docs

Nos 5 domaines d'expertise



Sciences de la terre et de l'environnement



Sciences et génie des matériaux



Énergétique et génie des procédés



Mathématiques appliquées, informatique et automatique



Économie, management, société

Faciliter les échanges entre entreprises et chercheurs, une des missions du Carnot M.I.N.E.S

Développer la recherche partenariale implique une bonne visibilité des compétences et moyens disponibles, et notamment auprès d'un public cible pertinent et selon des modalités adaptées.

Pour cela, le Carnot M.I.N.E.S organise de nombreux événements de promotion des activités de recherche de ses centres auprès des industriels: journées industrielles thématiques, webinaires, *research days*, salons généralistes ou sectoriels, etc.

Chaque année, ces événements favorisent des centaines d'échanges directs entre nos équipes et des entreprises partenaires, scientifiques ou techniques.



ALKERN NORDB • ALKION TERMINAL LE HAVRE • ALLICE • ALPE PREVENTIVE • ALGEOEX • AGILEA CONSEIL SAS • AIMPLAS • INSTITUTO TECNOLÓGICO PLÁSTICO • AIR FRANCE • AIR LIQUIDE • AIR SERENITY • AIRBUS • AIRMOTEC • AKUO ENERGY • ALGAE • ALISE GEOMATIQUE • A.T.A. • APSYS • AQUASYS • ARC EN CIEL • ARC INTERNATIONAL FRANCE • ARCA SARL • ARCADIS ESG • ARCELORMITTAL • ARD • ARECO • ARGECO • ARKEMA • ARMOR • ARTELIA HOLDING SAS • ASPECT • ASTERALS • ATAWAY • AUROCK • AUTOLIV • AVIGNON CERAMIC • BASF FRANCE SAS • BATHILY ABDOLAYE • BECKER & NOLLET PARTNERS • BECTON DICKINSON FRANCE SAS • BÉDY GABLA DIDIER • BERGER-LEVRAULT • BERTIN TECHNOLOGIES • BIOEB • BIOMODEX • BOA CONCEPT • BOEHRINGER INGELHEIM • BONDUELLE SA • BONY SA • BRANGEON SERVICES • BUTAGAZ • C.C.M.P. SAS • COMPAGNIE COMMERCIALE MANUTENTION PÉTRIÈRE • C.C.R. (CARRIÈRES-CONCASSAGE-ROANNAIS) • C.T.M.I. • CABINET GOVHE • CAISSE CENTRALE DE REASSURANCE • CANON PARIS FAC-SIMILE IDF • CAPACITES SAS • CARBAJAL MAMANCHURA WILLIAM • CARBIOS SA • CARGILL FRANCE SAS • CARREFOUR • CARRIÈRES DU BOULONNAIS • CARRIÈRES DU JAUDY SA • CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY • CASTMETAL DEVELOPMENT • CEFIVAL • CELLMARK FRANCE SAS • CENTRALE INNOVATION • CGGVERITAS SERVICES SA • CHEMOURS INTERNATIONAL OPERATIONS SARL • CHOMARAT TEXTILES INDUSTRIES • CHOQUENET SAS • CHRYSO SAS • CIEL ET TERRE INTERNATIONAL • CITP • CITYWAY • CLASS&CO SOFTWARE • CLEXTRAL • CMI FRANCE • CMI PROSERPOL • CMR REPERAGES • CNR • COFERMING • COLAS • COMINAK • COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME • CONSULTORS • COOPERATION PHARMACEUTIQUE FRANÇAISE (COOPER) • CORNING SAS • CORSICA SOLE • CORUSCANT SA • COSSON • CRC SERVICES • CREOCEAN • CRITT MDTs • CRYO PUR • C-TEC CONSTELLUM TECHNOLOGY CENTER • CVASTHERA SAS • DAHER NUCLEAR TECHNOLOGIES • DALKIA STE • DANONE • DASSAULT • DCNS • DECATHLON • DECISION BRAIN SAS • DENSATIL SARL • DIAMANT DRILLING SERVICES • DINTEC • DIOTA • DLR E.V. • DOMA PHARMA • DON DIVERS • DOURDIN SA • DRILLSTAR INDUSTRIES • DYNAGEZ • E.COCOM MATERIALS • ECOFI INVESTISSEMENTS • EDF • EFFICACITY • EPINOR MOUTEAU • EGIS STRUCTURES & ENVIRONNEMENT • EIFPAGE • EKIMETRICS • ELEKTRON GRI • ELEMENT SIX • ELM LEBLANC • ELWAVE • EMMERSON PLC • ENGIE • ENI S.P.A. • EOSYS • ERC GROUPES • EQIOM • ERAMET • ERANOVA • ES GEOTHERMIE • ESII • ESR • ESTIMAGES • EUROFINIS HYDROLOGIE FRANCE SAS • FAB D SAS (STIM) • FABER NOVEL • FABRIQUE DE L'INDUSTRIE • FARE TRADE • FARECO • FAURECIA • FEELIGREEN • FEETME • FLEXI FRANCE • FLYING WHALES • FM LOGISTIC CORPORATE • FOUNDATION BRAKE FRANCE SAS • FRAMATOME • FUTURPLAST • GARAGE CITROEN CHRIS AUTO • GAZ TRANSPORT & TECHNIQAZ (GTT) • GE • GECCO • GEMALTO • GENEOMAT • GENEPEP • GEOCONCEPT • GEOLITH • GEOLNNOVA CONSULTORES LIMITADA • GEOSERVICES EQUIPEMENTS SAS • GEOVARIANCES • GERFLOR SAS • GEVAL • GFI INFORMATIQUE • GINGER DELEO • GPA • GREENPILE • GREENTECH • GROUPE SEB • GRTGAZ • GRUPO ANTOLIN CAMBRAIS SAS • GS1 • H2P SYSTEMS • H4D • HANDLE S.A. • HAVATECH • HBM DIPTERACTECH • HEVA • HEXCEL

REINFORCEMENTS RESEARCH • IANESCO INDEX ENERGIES • IDMED ALUMINATES • IMRA IZTYRENE • INNOVATION INTUJSKIN • IONISOS • IZUBA ENERGIES IPOCOE CONSULTING KEA • KELVION THERMAL INDUSTRIES GESTION COMPUTERS SAS • LA SPIROTECHNIQUE COMMERCIALE • EICHROM EUROPE • SA • LACROIX TOUS • LAITERIE NOUVELLE • LAMINES MARCHANDS STORAGE • LAUAK FRANCE • LEVIATHAN AEROSPACE • LINDE • LOGITRADE FRANCE L'OREAL • LORYON TRANSPORT • LUNTECH M2I DEVELOPMENT • MANNESMANN • MANUFACTURES DE AMALRIC • MAURIN SAS • MERCK KGAA • MICA ENVIRONNEMENT • MONOLITH MATERIALS • ACTIS FLAVOURS • NEO-ECO RECYCLING NETRA • NEUROLIXIS 4 • NEXTER SYSTEMS ASPHALTE • NOVARES PROCESS • OCP • ODESYO ODEURS & COV • ONYX • OPTIMUM TRACKER • ORANO • OREXAD • OSD DEVELOPMENT • OVIATIS SAS • PANELCO SAS • PARFUMS CHRISTIAN • PELLENC SELECTIVE • PIERRE FABRE • PILEJE ISOCEM • POMONA PRAYON • PREVENTEO PROVEPHARM LIFE PEUGEOT CITROEN TECHNOLOGIES • RESINOPLAST • ROCTOOL • ROQUETTE SADE COGH • SAFRAN • S.A. • SALINE D'EINVILLE SALINES DE L'EST • SAS BONGARZONE • SYMATESE AESTHETICS TREATMENT TOULOUSE • S.A.S • SC METHODE TRF SCHMOLZ & BICKENBACH ELECTRIC • SCIENCES & COMPUTERS CONSULTANTS • SDLP • SECAB • SECHE ENVIRONNEMENT • SEFI ENTRAFOR • SEGULA • SENSIENT COSMETIC TECHNOLOGIES • SEPPIC SA • SEPS • SEREME • SFL SOCIÉTÉ FINANCIÈRE DE LATTES • SGS • SHELL • SICOMIN • SIDEL • SIGVARIS • SISMO • SMF • SOCIÉTÉ METALLURGIQUE DE FONTAINE • SNCF • SNCZ • SOCIÉTÉ DE SERVICES PETROLIERS • SOCIÉTÉ GÉNÉRALE • SOFRADIM PRODUCTION • SOFRECO • SOFTBANK ROBOTICS • SOGIMINES SAS • SOITEC SA • SOKA • SOLETANICHE BACHY INTERNATIONAL • SOLVAY • SOLYSTIC • SOMFY SAS • SPECITECH AUTOMATISME • SPH CONSEIL • SPIE • SRMA • STELIA AEROSPACE COMPOSITES • STELLA SURGICAL • STIMSHOP • STIMCROELECTRONICS • STORENGY SAS • STOREWATT • STRATIFORME • SUEZ GROUPE • SYLOB • SYMBIO • SYNDICAT DES VINS DES SABLES • SYNVINA CV • TAFOMO METAWIRELESS • TARKETT FRANCE • TECHNICS GROUP • TECNIMONT • TEFAL SAS • TEREOS FRANCE • TERRA3D • TERREAL • TETRA PAK PROCESSING EQUIPMENT SAS • TEXCELL • THALES • THE WORLD BANK • THUASNE • TIMET SAVOIE SA • TOP INDUSTRIE SAS • TOPPAN PHOTO MASKS FRANCE S.A.S • TRACTEBEL ENGINEERING • TRANSVALOR • TREDI • TRELLEBORG INDUSTRIE SAS • TREVES PRODUCTS, SERVICES & INNOVATION • TRIPBIKE • TUPPERWARE BELGIUM NV • UBISOFT INTERNATIONALE • UGITECH • UMALIS GROUP • UNITED VISUAL RESEARCHERS UVV • UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE RIO DE JANEIRO • URBAN COD • URGO RECHERCHE INNOVATION ET DEVELOPPEMENT • USA AIR FORCE OFFICE OF SCIENTIFIC RESEARCH • V. MANE FILS • VALEO • VALLOUREZ • VALOREIZH • VAREL EUROPE S.A.S • VENTO INTERNATIONAL • VEOLIA • VERDEMOBILE BIOGAZ • VERNET • VETOQUINOL FRANCE • VIBRACOUSTIC NANTES • VICAT • VIF • VINCI • VISHAY S.A. • VIVENDI • VM BUILDING SOLUTION SAS • WANDERCRAFT SAS • WISEKEY SEMICONDUCTORS • WIT • WORLD ENERGY & METEOROLOGY COUNCIL • YANTAI TAIHAI GROUP • ZODIAC

QUI SOMMES-NOUS ?

En 2024, + de 455 entreprises nous ont fait confiance

Dans 8 principaux secteurs d'activité :

Énergie, ressources, environnement

- Énergie bas carbone • Méthodes d'extraction innovantes • Captage, stockage et valorisation du CO₂ • Power to X • Réseaux électriques intelligents • Efficacité énergétique • Technologies de l'hydrogène • Économie des marchés énergétiques • Dépollution • Impact environnemental • Éco-conception

Transport, mobilité durable

- Nouveaux matériaux et leurs procédés de transformation • Allègement des structures • Systèmes de transport intelligents • Logistique • Nouvelles mobilités • Mobilité bas carbone

Industrie de transformation

- Contrôle des systèmes • Fabrication additive • Conception innovante • Transformation numérique des entreprises • Jumeau numérique • Réalité virtuelle • Réalité augmentée • Modélisation et simulation numérique

Bâtiment, travaux publics

- Revalorisation et recyclage • Nouveaux matériaux • Qualité de l'air • Performance énergétique

Santé

- Textiles médicaux • Implants • Biocapteurs • Technologies galéniques innovantes • Algorithmes d'apprentissage statistique • Analyse d'images • Outils d'aide à la gestion hospitalière

Télécom, Numérique

- Supervision • Cybersécurité • Technologies quantiques • Data mining • Bases de données • Usage des médias

Services

- Formes et gouvernance de l'entreprise • Pratiques managériales • Management de l'innovation • Futur de l'industrie et du travail • Gestion des risques et des crises • Résilience

Industrie du luxe, biens de consommation

- Transmission du savoir-faire • Préservation du patrimoine immatériel • Sensorialité des matériaux • Objets connectés • Électronique flexible • Matériaux biosourcés

+ de **680** contrats par an

40 M€ de recettes partenariales avec le monde socio-économique

26,1 M€ de recettes sur contrats directs avec les entreprises

25 % de l'activité directe avec les TPE/PME/ETI

543 brevets et logiciels détenus en portefeuille

29 nouveaux brevets prioritaires et logiciels déposés

42 inventions déclarées

5

Les instituts Carnot sont des structures de recherche publique labellisées par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, qui prennent des engagements forts pour mener et développer une activité de recherche partenariale au bénéfice de l'innovation des entreprises – de la PME au grand groupe – et des acteurs socio-économiques.

Un label exigeant, responsabilisant et engageant

Le label Carnot s'est imposé comme une garantie d'excellence scientifique et de qualité. Son objectif est de favoriser le développement de la recherche partenariale, c'est-à-dire la conduite de travaux de recherche menés par les meilleurs laboratoires français et leurs plateformes technologiques en partenariat avec des acteurs socio-économiques, notamment avec des entreprises.

Grâce à son fort ancrage territorial et son approche pluridisciplinaire, le réseau Carnot offre aux entreprises de tous les secteurs industriels les ressources R&D dont elles ont besoin pour développer leur compétitivité.

Comment finançons-nous nos actions ?

En recevant un abondement de l'Agence nationale de la recherche (ANR) proportionnel au volume de nos contrats bilatéraux de R&D.

Ce financement est mis à profit pour :

- anticiper les besoins futurs des industriels et enrichir nos expertises au travers du soutien financier de projets sélectionnés (voir les projets lauréats des dernières années, pages 10 à 12),
- renforcer notre professionnalisme dans la relation partenariale.



Le Réseau CARATS lors du salon LuxePack en septembre 2024

Les Carnot s'associent pour répondre aux besoins des filières industrielles

Offrir une large gamme de compétences aux entreprises d'une filière, tel est l'enjeu de l'organisation en réseau des Carnot. Le Carnot M.I.N.E.S s'engage ainsi collectivement auprès de quatre filières stratégiques pour l'économie française : les énergies à faible impact carbone, la mode et le luxe, l'industrie du futur, la santé. En lien étroit avec les comités stratégiques de filières (CSF) concernés, cette approche collaborative permet d'offrir aux entreprises des réponses exhaustives et un bon niveau de maturité technologique.

Chiffres clés

Un label d'excellence

39 Carnot

20% des effectifs de la recherche publique

55% de la R&D financée par les entreprises en partenariat avec la recherche publique est confiée au réseau Carnot

1150 brevets prioritaires déposés (1^{er} déposant français)

La recherche



pour les entreprises

Le Carnot, ça marche !

Le Carnot M.I.N.E.S consacre chaque année près de 70 % de son abondement en actions de ressourcement scientifique. Un choix stratégique fort qui porte ses fruits.

Moyens mobilisés entre 2020 et 2023



Résultats obtenus au 31/12/2024



Le Carnot comme tremplin vers l'entrepreneuriat



© Marion Négrier

Marion Négrier a réalisé sa thèse dans le cadre du projet phare du Carnot M.I.N.E.S consacré à la recyclabilité des polymères. Elle s'est intéressée au recyclage des déchets textiles composés partiellement ou entièrement de fibres végétales. En les transformant en aérogels de cellulose, elle vise des matériaux

permettant la libération contrôlée des substances, telles que les médicaments ou les engrais.

Actuellement en post-doctorat au Centre de mise en forme des matériaux (CEMEF, Mines Paris – PSL), Marion Négrier poursuit ses recherches dans le surcyclage des déchets textiles: elle cherche à produire des biomatériaux moins contraignants à fabriquer et susceptibles de remplacer des plastiques tels que le polyéthylène téréphtalate (PET), le polypropylène ou le polystyrène et ce, à partir d'un nouveau procédé qui s'appuie sur des solvants plus économiques et recyclables.

Ce procédé, en cours de dépôt de brevet, et ces matériaux innovants présentent un fort intérêt pour divers secteurs industriels, notamment ceux de la mode et du luxe. Pour confronter ses travaux à la réalité du terrain, la jeune chercheuse a créé son entreprise.

Cette start-up, Blendcel, est d'ores et déjà lauréate du concours d'innovation de l'État dans la catégorie I-PhD, qui récompense les projets entrepreneuriaux valorisant des travaux de thèse en vue d'une rupture technologique.

Plus d'informations:

<https://www.carnot-mines.eu/expert/marion-negrier-engagee-pour-le-surcyclage-des-dechets-textiles/>

Marion Négrier,

marion.negrier@minesparis.psl.eu
post-doctorante, CEMEF, Mines Paris - PSL

Ambition et stratégie

Notre ambition : accompagner les entreprises pour faire face aux grandes transitions

Quelles que soient leur taille ou leur activité, les entreprises doivent innover, non seulement pour rester compétitives dans une économie mondialisée, mais surtout pour s'adapter aux défis posés par les grandes transitions contemporaines.

Grâce à son approche pluridisciplinaire et à la qualité de ses partenariats, le Carnot M.I.N.E.S est en mesure d'accompagner les entreprises les plus diverses, à tous les stades de leur croissance, de la start-up au grand groupe. Il les aide à développer leurs procédés industriels ainsi que de nouveaux produits et services, répondant ainsi aux enjeux énergétiques, écologiques et numériques qui s'imposent désormais à toutes.

Nos moyens : l'art de mettre en synergie les compétences

Qu'il s'agisse d'électrification des usages, de santé, de recyclabilité des polymères ou d'industrie responsable, nos centres de recherche bénéficient de la dynamique de financement de projets Carnot de grande ampleur. Ainsi, chaque année, entre douze et vingt équipes de l'institut s'associent pour développer de nouvelles compétences interdisciplinaires au service d'un enjeu d'actualité. La synergie créée par ces projets phares place le Carnot M.I.N.E.S parmi les leaders de la recherche sur ces sujets auprès des entreprises.

Une excellence scientifique reconnue à l'international

En conformité avec ses objectifs, le Carnot M.I.N.E.S a encore développé son activité à l'international en 2024, contribuant ainsi à la renommée de la recherche française à l'international.

L'excellence scientifique de nos chercheurs a été saluée par l'obtention de bourses et de prix, mais aussi par la coordination de projets collaboratifs européens, la publication dans les meilleures revues internationales ou encore l'invitation de nos chercheurs à de prestigieuses conférences.

En parallèle, les compétences et moyens de l'institut ont fait l'objet d'une promotion particulière au sein des grands salons internationaux.

Le Carnot M.I.N.E.S se projette dans l'avenir

Les 17 et 18 septembre, les neuf établissements membres de l'institut se sont à nouveau donné rendez-vous à Aix-en-Provence. Au programme, un séminaire stratégique résolument orienté vers l'avenir.

Directeurs de la recherche, chefs de centres de recherche, enseignants-chercheurs, responsables et chargés du développement partenarial, gestionnaires de contrats, toutes les forces vives de l'institut étaient représentées pour définir ensemble les contours du futur de l'institut.

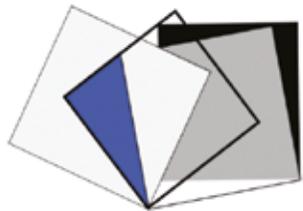
Deux journées de travail pour (re)penser l'animation scientifique, le développement partenarial et les interactions avec différents écosystèmes de la recherche partenariale, avec en ligne de mire la demande de renouvellement du label pour la période 2026-2030 qui interviendra courant 2025.



© Carnot M.I.N.E.S

Accompagner les grandes transitions

S'inspirer du Bauhaus pour mieux appréhender les transitions



BAUHAUS DES
TRANSITIONS
GÉRER L'INCONNU

Les dynamiques créatives qui existaient au sein du Bauhaus, école pionnière qui révolutionna le design au début du XX^e siècle, pourraient-elles nous inspirer pour mieux gérer les inconnus des transitions?

Inspirée par le Bauhaus, Mines Paris – PSL a inauguré en 2024 un nouveau « Bauhaus des transitions ». Chercheurs, praticiens, dirigeants des collectifs inventifs pourront y développer les nouveaux langages (les « formes ») et les nouvelles pratiques (la « matière ») pour gérer les inconnus des transitions contemporaines, en écologie, santé, mobilité, matériaux, énergie, souveraineté industrielle ou encore espaces informationnels. De nombreux partenaires partagent l'esprit de ce projet et le soutiennent, parmi lesquels de grandes entreprises comme SNCF Réseaux, STMicroelectronics, Dassault Systèmes, des ETI comme Urgo ou encore des PME et startups comme STim et CryoPur.

Ce Bauhaus des transitions du XXI^e siècle se donne pour objectif de renouveler la culture gestionnaire en approfondissant les modèles de la générativité préservatrice et en expérimentant concrètement des projets à impact. Il se veut un espace pour des recherches-utopies sur de nouvelles formes d'action collective pour gérer l'inconnu en lien avec les autres disciplines scientifiques explorant les logiques génératives (data science, biologie, histoire, mathématiques, sciences de l'ingénieur...). Il s'inscrit dans les réseaux français, européens et mondiaux d'universités, d'entreprises et d'institutions publiques qui ont vocation à répondre aux défis posés par la gestion des inconnus des transitions.

Plus d'informations:

<https://bauhausdetransitions.minesparis.psl.eu/>

Pascal le Masson,

pascal.le_masson@minesparis.psl.eu, professeur, Centre de Gestion Scientifique, Mines Paris – PSL



Workshop TTI.5, Mines Paris - PSL, mai 2024

© Frédérique Toulet

TTI.5: la recherche en appui de la décision publique pour la transition écologique

Les chercheurs et chercheuses membres de The Transition Institute 1.5 (TTI.5) se sont réunis en mai 2024 pour un workshop suivi d'une table ronde sur l'influence et le soutien que leurs expertises peuvent, et doivent avoir sur les politiques publiques en faveur de la transition écologique. Sciences de gestion, économie, prospective... Autant d'atouts pour répondre de manière éclairée aux défis organisationnels, de gouvernance et de dynamique collective à résoudre pour concrétiser cette transition vers un avenir désirable.

Plus d'informations:

<https://www.minesparis.psl.eu/blog/actualites/workshop-tti-5-la-place-de-mines-paris-psl-dans-les-politiques-publiques-liees-a-la-transition-ecologique/>

<https://the-transition-institute.minesparis.psl.eu/>

AVICAR

Vers une aviation du futur à faible impact carbone



© IMT Mines Albi

3 questions à Christophe Coquelet, coordinateur du projet

Le transport aérien est souvent pointé du doigt pour sa contribution au réchauffement climatique.

Est-il possible d'améliorer l'empreinte carbone du secteur ?

La crise du COVID-19 a montré qu'une réduction drastique du nombre de vols a des impacts économiques et sociaux très importants sur deux secteurs clés de l'économie française : la filière aéronautique bien sûr, forte de près de 1000 entreprises et 300 000 emplois directs et indirects, mais également le tourisme. La France est la première destination touristique mondiale et dépend largement du transport aérien. Ainsi, réduire le nombre de vols ne peut pas être la seule piste de réflexion pour limiter les émissions de CO₂ du secteur aérien. Il faut donc aussi réfléchir à comment concevoir, produire et opérer un avion du futur à l'empreinte carbone la plus réduite possible.

Quels sont les défis posés par cet avion du futur et bas carbone et comment le Carnot M.I.N.E.S compte-t-il y répondre ?

Produire un avion bas carbone implique de relever plusieurs défis technologiques et organisationnels tels que :

- la production de carburants durables et alternatifs (biocarburants avancés, l'hydrogène vert et e-fuels),
- les technologies de propulsion avancées : propulsion électrique pour les vols courts, systèmes hybrides, moteurs à turbine plus efficaces,
- la fabrication durable des avions : optimisation des consommations énergétiques, réduction des déchets produits, recyclage, minimisation de l'empreinte carbone de la chaîne d'approvisionnement,
- la conception de l'avion : réduction de la consommation de carburant par l'allègement et le design aérodynamique, amélioration de l'indice de recyclabilité des avions.

En réponse aux enjeux, en nous appuyant sur les compétences pluridisciplinaires présentes au sein du Carnot M.I.N.E.S, nous proposons une structuration de projet selon 3 axes de recherche :

- les procédés de production de carburants alternatifs,
- la planification des systèmes multi-énergie pour une logistique de distribution respectueuse de l'environnement,
- les matériaux pour l'allègement des avions, le transport et le stockage de carburants.

Quels sont les impacts potentiels pour les parties prenantes du secteur aérien ?

Les résultats du projet visent les constructeurs d'aéronefs, les producteurs de carburants et les exploitants d'aéroports. On peut citer :

- la production pilote de nouveaux vecteurs énergétiques à forte valeur ajoutée,
- des outils d'aide à la décision pour la planification des infrastructures multi-énergie intégrant la production de carburants alternatifs pour l'aviation et leurs impacts environnementaux,
- le développement de prototypes industriels de composites hautes performances avec une maîtrise de leurs propriétés par le contrôle du procédé.

Christophe Coquelet,
christophe.coquelet@mines-albi.fr
 coordinateur du projet, professeur,
 Centre RAPSODEE, IMT Mines Albi

Quel rôle pour les matériaux dans l'aviation du futur ?

Le projet se concentrera sur les composites à matrice thermoplastiques (TP), prometteurs pour des avions plus écologiques grâce à leur légèreté, leur fabrication hors autoclave et leur recyclabilité. Cependant, des défis subsistent, notamment dans la fabrication de pièces complexes et la compréhension des propriétés induites. Le projet vise à optimiser leur déploiement industriel. L'efficacité énergétique avec les bio-aérogels comme superisolants thermiques et l'allègement des aéronefs, via de nouveaux alliages d'aluminium ou de titane formés à chaud, seront également abordés.

Sylvain Drapier, sylvain.drapier@emse.fr, professeur, Centre SMS, MINES Saint-Étienne

12 centres
de recherche

5 écoles (IMT Mines Albi, Mines Paris - PSL, MINES Saint-Étienne, IMT Mines Alès, IMT Nord Europe)

1 thèse

8 post-docs

Budget :

1,6 M€

Période :

2024-2027
 Aviation / E-carburants /
 Décarbonation / Allègement

ELECTRE

Des recherches pluridisciplinaires pour s'affranchir des énergies fossiles

ACV NaTech, une méthode de prospective environnementale intégrant l'évaluation des risques sur les installations de production d'énergie

L'électrification des usages est cruciale pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), mais elle présente des défis majeurs, notamment face aux aléas naturels. Les méthodes classiques d'analyse du cycle de vie (ACV) ne prennent pas en compte les risques NaTech, ces accidents technologiques provoqués par des événements naturels (séismes, inondations, incendies, etc.), dont la probabilité augmente avec le changement climatique. Dans le cadre du projet phare Electre, Alejandra Cue Gonzalez, post-doctorante au Centre observation, impacts, énergie (OIE) de Mines Paris – PSL, développe une méthodologie innovante intégrant ces risques dans l'ACV. En collaboration avec le Centre de recherche sur les risques et les crises (CRC, Mines Paris – PSL), elle applique cette approche aux parcs photovoltaïques en exploitant des données réelles. L'objectif est d'améliorer la résilience énergétique en anticipant les impacts économiques et environnementaux des aléas. À terme, cette méthode pourrait être adaptée à d'autres filières renouvelables ainsi qu'à celle du nucléaire.

Plus d'informations: <https://www.carnot-mines.eu/acv-natech-evaluation-des-risques-naturels-en-energie/>

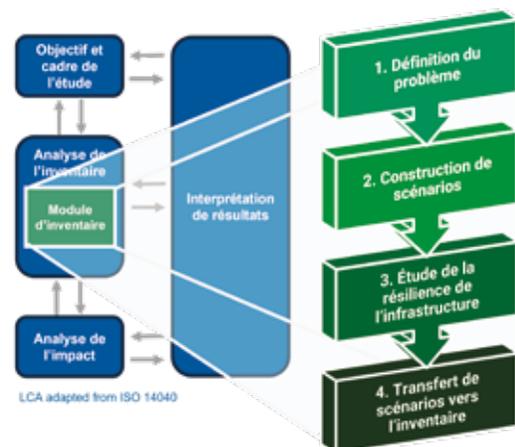
Alejandra Cue Gonzalez, alejandra.cue_gonzalez@minesparis.psl.eu, post-doctorante, Centre OIE, Mines Paris - PSL

Éclairer le débat sur la mobilité électrique par une approche holistique

Ce travail vise à explorer la mobilité électrique en adoptant une approche holistique qui croise les perspectives techniques, économiques, sociales et environnementales. Le projet portera un regard transdisciplinaire, mobilisant les différentes expertises présentes au sein de Mines Paris – PSL et des autres Écoles du Carnot M.I.N.E.S. L'objectif ambitieux du projet est de synthétiser les nombreux points de vue sur cette thématique complexe afin de dégager une vision claire et partagée. Dans cette optique, Andres Tellez Avilla, post-doctorant à Mines Paris – PSL, portera une attention particulière à la définition même de la « mobilité électrique ». Cette réflexion préliminaire, essentielle pour cadrer le travail, permettra de poser les bases conceptuelles nécessaires à l'analyse des impacts, des opportunités et des défis liés à l'électrification des transports. Parallèlement, le projet cherchera à établir une base solide pour éclairer les choix stratégiques et politiques à venir, en fournissant des outils analytiques et des recommandations fondées sur des

données rigoureuses. En croisant les recherches académiques, les tendances mondiales et les enjeux locaux, le travail ambitionne également de nourrir un débat sociétal constructif et inclusif. Le projet aboutira à la production de deux livrables majeurs: une note d'éclairage fournissant des recommandations stratégiques et opérationnelles aux décideurs politiques et aux acteurs du monde socio-économique, et un ouvrage de vulgarisation scientifique, destiné à un public beaucoup plus large, allant des étudiants et enseignants aux citoyens curieux. Cet ouvrage cherchera à rendre les connaissances accessibles et à sensibiliser sur les opportunités, les défis et les choix possibles autour de la transition vers la mobilité électrique.

Andres Tellez Avilla, andres.tellez_avilla@minesparis.psl.eu post-doctorant, Centre des matériaux, Mines Paris - PSL



12 centres de recherche

6 écoles (Mines Paris - PSL, MINES Saint-Étienne, IMT Mines Albi, IMT Mines Alès, IMT Atlantique, IMT Nord Europe)

7 thèses

6 post-docs

Budget:

1,4 M€

Période:

2023-2026

Électrification / Transition énergétique / Industrie / Transports

CARINGS

L'ingénierie pour la santé

« NanoTracs » : La pollution de l'air en ville, quel impact sur la santé humaine ?



© Nour Daaboul

La pollution de l'air en ville est un enjeu majeur pour la santé publique et l'environnement. À Paris, les platanes offrent un suivi naturel des particules fines grâce à la desquamation annuelle de leur écorce, permettant une datation précise des dépôts.

Le projet **NanoTracs**, porté par Mines de Paris – PSL, IMT Nord Europe et MINES Saint-Étienne, vise à caractériser la nature physico-chimique de ces particules par diverses techniques d'analyse. Après caractérisation, leur extraction permettra de tester leur toxicité *in vitro* sur des cellules pulmonaires, principales cibles des particules inhalées. D'autres essais évalueront leur potentiel à induire stress et inflammation.

Cette approche innovante de biosurveillance et d'analyse avancée contribue à une meilleure compréhension de la pollution urbaine et de ses risques sanitaires, au service d'une gestion environnementale durable.

Plus d'informations :

<https://www.carnot-mines.eu/pollution-air-ville-surveillance-gestion/>

Nour Daaboul,

nour.daaboul@minesparis.psl.eu

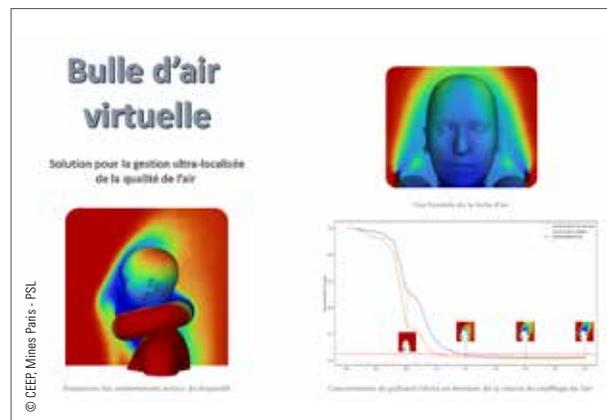
doctorante, Mines Paris – PSL, MINES Saint-Étienne, IMT Nord Europe

« Bulle d'air virtuelle » : une solution pour la gestion ultra-localisée de la qualité de l'air

Porté par les équipes du Centre énergie, environnement, procédés (CEEP) de Mines Paris – PSL, ce projet vise à améliorer la qualité de l'air autour de chaque individu dans un espace donné.

La solution repose sur un dispositif embarqué, placé à proximité de la personne, qui stérilise un flux d'air avant de le diffuser autour du visage. Ce flux d'air crée une zone de qualité augmentée, repoussant efficacement les contaminants sous forme d'aérosols (<10 µm). Les simulations numériques menées par les chercheurs montrent que ce dispositif peut réduire jusqu'à 40 fois la concentration de contaminants atteignant le visage, en utilisant seulement 20 m³ d'air stérile par heure.

Un premier prototype a été conçu et sera optimisé à MINES Saint-Étienne. À terme, cette technologie pourrait être adaptée à d'autres usages, comme la recirculation d'oxygène pendant le sommeil ou l'amélioration de la qualité de l'air dans des environnements fortement pollués.



© CEEP, Mines Paris - PSL

Plus d'informations :

<https://www.carnot-mines.eu/projet-bulle-dair-virtuelle-une-solution-pour-la-gestion-ultra-localisee-de-la-qualite-de-lair/>

Maroun Nemer,

maroun.nemer@minesparis.psl.eu
directeur du CEEP,
Mines Paris - PSL

Les Rencontres CARINGS

La première journée des Rencontres CARINGS s'est tenue en mai à Alès, réunissant industriels et chercheurs autour du thème « Ergonomie, Santé et Industrie 5.0 : Promouvoir le bien-être par l'optimisation des facteurs humains ». Au programme : présentation des projets, retour d'expérience d'industriels partenaires et démonstration d'un outil de réalité virtuelle et de capture de mouvement visant à réduire la pénibilité au travail.



© Carnot M.I.N.E.S

16 centres de recherche

6 écoles (Mines Paris – PSL, IMT Mines Alès, IMT Mines Albi, IMT Nord Europe, MINES Saint-Étienne, Clermont Auvergne INP)

7 thèses

8 post-docs

Budget :

1,9 M€

Période :

2022-2025
Ingénierie et santé /
Numérique /
Pollution de l'air

Collaboration phare: IMT Mines Albi & HYCCO

De l'idée à la production en série de composants clés pour le déploiement de la mobilité hydrogène



© Réseau des Carnot



Plus d'informations:

<https://www.carnot-mines.eu/mobilite-hydrogene-double-prix-pour-olivier-de-almeida/>

Olivier de Almeida,

olivier.de-almeida@mines-albi.fr
directeur adjoint de l'institut Clément Ader (ICA), IMT Mines Albi

L'hydrogène est un vecteur énergétique clé pour décarboner le secteur des transports. Parmi les défis technologiques qui sous-tendent son déploiement, la diminution du poids des piles à combustible à embarquer est cruciale. Un composant représente à lui seul 75% du poids et 30% du

coût d'une pile: la plaque bipolaire. Son rôle, central, est de distribuer l'hydrogène jusqu'à la membrane échangeuse de protons, d'évacuer l'eau formée et de conduire les électrons du courant électrique généré tout en assurant le refroidissement du système.

En 2017, les ingénieurs à l'origine de la start-up HYCCO ont eu l'idée de produire des plaques bipolaires en matériaux composites thermoplastiques, donc légères et durables, mais avec des performances et épaisseurs similaires à la technologie métal. Ils se sont rapprochés d'Olivier de Almeida, enseignant chercheur à l'Institut Clément Ader (ICA) de l'IMT Mines Albi, pour en étudier la faisabilité et définir les jalons d'une feuille de route R&D. Le principal défi technologique était d'identifier les polymères et les renforts de carbone répondant aux exigences applicatives

Le soutien d'IMT Mines Albi et l'expertise d'Olivier de Almeida ont été déterminants dans notre développement. Notre technologie représente une avancée majeure pour la décarbonation de secteurs comme l'aéronautique, le ferroviaire et le maritime. Nous sommes fiers de contribuer à l'émergence de solutions technologiques durables à fort impact industriel.

Ludovic Barbès, cofondateur et directeur financier d'HYCCO

Cette double reconnaissance illustre l'importance de la recherche partenariale et des liens public-privé pour la transition énergétique. Elle témoigne de la force de notre partenariat avec HYCCO et du potentiel de nos innovations pour la mobilité durable.

Olivier de Almeida, IMT Mines Albi

des plaques bipolaires et de réussir à les mettre en œuvre sous forme de composites extrêmement fins, de l'ordre de 200 µm, afin d'apporter sur le marché une alternative performante aux classiques plaques bipolaires métalliques. HYCCO a ainsi pu bénéficier de l'expertise et de l'accompagnement de l'ICA jusqu'à la mise au point d'une preuve de concept qui a permis la création de l'entreprise en 2019. Depuis, la collaboration s'est intensifiée à travers la réalisation d'une thèse CIFRE encadrée par Olivier de Almeida. L'objectif: optimiser le cycle de production de plaques bipolaires en matériaux composites pour avancer vers le déploiement industriel. Les résultats, très prometteurs, font l'objet d'un dépôt de brevet et d'une poursuite de la collaboration afin de réduire encore l'épaisseur des plaques. En 2023, HYCCO a enregistré ses premières commandes et obtenu deux financements majeurs: 1,9 M€ de l'appel à projet « Première Usine » de Bpifrance, et 1,6 M€ de l'ADEME. Ces investissements stratégiques permettent à l'entreprise d'accélérer son développement industriel, visant une capacité de production de 165 000 plaques par an d'ici 2027, tout en consolidant son avance technologique. Employant 20 personnes, dont des anciens d'IMT Mines Albi, HYCCO vise 15 M€ de chiffre d'affaires dans cinq ans. L'impact de cette collaboration sur le développement technologique et économique d'HYCCO a été reconnu lors des Rendez-vous Carnot 2024: Olivier de Almeida a reçu le Grand Prix Carnot et le Prix Carnot de la recherche partenariale pour la création d'entreprise.

La R&D au service de la création de valeur

Chaire de recherche CIMES (Critical Infrastructures Model based systems Engineering and early verification and validation by Simulation)



Initiée dès 2019, cette chaire entre l'entreprise Assystem et IMT Mines Alès a pour objectif d'aider les acteurs métiers à collaborer plus efficacement, à mieux appréhender les risques et les aléas, et à prendre en compte les exigences de plus en plus contraignantes des différentes parties prenantes des projets de grande envergure, notamment dans les domaines des infrastructures critiques du nucléaire et des transports. Elle vise également à anticiper les futures compétences et méthodologies qui seront indispensables pour le développement des prochains projets d'infrastructures critiques nucléaires.

Forte de ses résultats, la chaire a été prolongée pour une durée de six ans en 2024.

Vincent Chapurlat,
vincent.chapurlat@mines-ales.fr
professeur, Laboratoire des sciences des risques (LSR),
IMT Mines Alès

Rapport d'activité 2024 - INSTITUT CARNOT M.I.N.E.S

LabCis: un laboratoire commun autour du stockage d'énergie par air comprimé

Segula Technologies et le laboratoire GEPEA d'IMT Atlantique travaillent ensemble depuis plus de dix ans sur des problématiques de stockage de l'énergie. Initiée par une thèse CIFRE, la collaboration visait à développer des solutions de stockage en mer pour l'énergie issue de sources renouvelables. L'objectif principal était de créer une alternative aux batteries traditionnelles, souvent polluantes et limitées en capacité de stockage.

Ces travaux ont conduit à la mise au point d'une technologie brevetée de système de compression isotherme utilisant un piston liquide, offrant un rendement supérieur à 70 % et une solution beaucoup plus écologique que les batteries. À travers le LabCis les équipes cherchent aujourd'hui à intensifier le procédé développé mais abordent également d'autres sujets de recherche moins matures: une technologie de séparation de gaz adaptée aux besoins et contraintes des agriculteurs transformant leurs déchets organiques par méthanisation, ainsi qu'un procédé de désulfuration des hydrocarbures maritimes.



Plus d'informations:

<https://www.carnot-mines.eu/segula-imt-atlantique-innovations-pour-le-stockage-energie/>

Albert Subrenat,
albert.subrenat@imt-atlantique.fr

enseignant-chercheur,
Laboratoire génie des
procédés environnement-
agroalimentaire (GEPEA),
IMT Atlantique



Mines Paris – PSL et RTE unissent leurs forces pour un avenir énergétique durable et responsable

Après plus de vingt années de collaboration, Mines Paris - PSL et le Réseau de transport d'électricité (RTE) ont concrétisé en 2024, par la signature d'un accord-cadre, une alliance à long terme autour de projets conjoints porteurs d'impacts technologique, sociétal et environnemental. À travers ce partenariat, les deux établissements allient leurs compétences pour répondre aux enjeux de la transition énergétique et du développement durable, tout en soutenant des projets de recherche de pointe, comme de nouveaux modèles d'algorithmes d'IA pour la prévision et la planification du réseau, avec pour objectif d'avoir une métrologie suffisamment robuste en vue d'une meilleure gestion de l'intermittence et du stockage au sein des territoires.

Plus d'informations:

<https://www.minesparis.psl.eu/blog/actualites/mines-paris-psl-et-rte-unissent-leurs-forces-pour-un-avenir-energetique-durable-et-responsable/>

International: contributions et reconnaissance

Monolith et PERSEE renforcent leur partenariat pour la décarbonation de l'industrie

L'industriel américain et Mines Paris – PSL ont signé en avril 2024 un nouvel accord-cadre de collaboration, prolongeant de cinq années supplémentaires un partenariat initié en 2012. Ce partenariat fructueux vise à accroître l'innovation dans le domaine des procédés utilisant des plasmas thermiques et à faciliter la recherche et le développement pour de nouvelles applications industrielles essentielles à la décarbonation.



Plus d'informations: <https://www.minesparis.psl.eu/blog/actualites/decarbonation-de-lindustrie-monolith-et-mines-paris-psl-renouvellent-leur-partenariat-de-recherche-et-signent-un-protocole-daccord-pour-le-developpement-des-procedes-par-plasma-therm/>

Laurent Fulcheri, laurent.fulcheri@minesparis.psl.eu
enseignant-chercheur, Centre PERSEE, Mines Paris - PSL

Un nouveau laboratoire commun entre Prayon et RAPSODEE



Développer des matériaux à base de phosphates pour les utiliser à des fins de stockage de l'énergie, de dépollution des eaux usées et des fumées industrielles, telles sont, depuis 15 ans, les réalisations issues de la collaboration d'IMT Mines Albi avec la société belge Prayon. Le laboratoire commun « Phosforlab 2 », inauguré en juin 2024, ambitionne de déployer ces résultats de recherche à l'échelle industrielle.

Plus d'informations: <https://www.imt-mines-albi.fr/fr/actualite/imt-mines-albi-societe-prayon-collaboration-recherche-phosphates-protection-environnement>

ERC: l'excellence scientifique reconnue des équipes du Carnot M.I.N.E.S

En 2024, trois bourses du Conseil européen de la recherche (ERC) ont été obtenues:



Stéphane Avril (CIS – MINES Saint-Étienne) s'est vu attribuer une bourse ERC *Advanced* pour son projet Juven Twin, qui vise à minimiser l'impact du vieillissement des artères grâce au contrôle des forces mécaniques exercées sur les cellules.



Ange Nzihou (RAPSODEE – IMT Mines Albi) également lauréat d'une bourse ERC *Advanced* pour le projet Storeheat, une solution innovante et durable pour réduire les émissions de CO₂: transformer les chaleurs fatales (> 550°C) en une source d'énergie exploitable, grâce à un matériau à base de carbone biosourcé.



Panagiotis Andrianesis (PERSEE - Mines Paris – PSL) a reçu une bourse ERC *Starting Grant* pour son projet CRISP (*Crisis-Resilient Price Discovery in Decarbonized Power Systems*), ayant pour but de développer des théories disruptives et des méthodologies innovantes pour la détermination des prix de l'électricité décarbonée résilients face aux crises.

CONTACT

Pour travailler avec
le Carnot M.I.N.E.S

☎ 06 84 64 24 93

✉ contact@carnot-mines.eu

🦋 @carnotmines.bsky.social

in @carnot-mines

🌐 www.carnot-mines.eu/fr



MINES PARIS - PSL
(Paris, Palaiseau, Évry, Fontainebleau)

IMT NORD EUROPE
Ecole Mines-Télécom
IMT Université de Lille

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

ENSTA PARIS

CLERMONT AUVERGNE INP

IMT ATLANTIQUE

MINES SAINT-ÉTIENNE
(Saint-Étienne, Gardanne)

IMT MINES ALBI

IMT MINES ALÈS
(Alès, Montpellier, Pau)

MINES PARIS - PSL
(Sophia-Antipolis)

- Sciences de la terre et de l'environnement
- Sciences et Génie des matériaux
- Énergétique et Génie des procédés

- Mathématiques appliquées, informatique et automatique
- Économie, management, société