



E4C
ENERGY4CLIMATE
INTERDISCIPLINARY CENTER

Prêt à relever le défi énergétique ?

Rapport d'activité

2020-2021

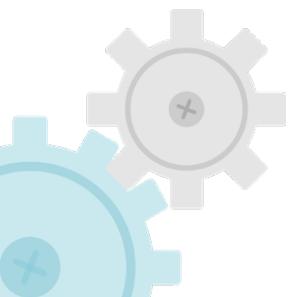
TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ PUBLIC	4
ÉTAT D'AVANCEMENT DU PROJET	5
IMPACTS DU PROJET	13
INDICATEURS.	15
EFFECTIFS – NOMBRE ET DIVERSITÉ.	20
FORMATION – FLUX D'ÉTUDIANTS, ENSEIGNANTS, CHERCHEURS.	20
VALORISATION	21
LISTE DES INDICATEURS SPECIFIQUES	22
LISTE DES JALONS.	22

RÉSUMÉ PUBLIC

Le centre interdisciplinaire Energy4Climate (E4C), créé en juin 2019 par l’Institut Polytechnique de Paris et l’École des Ponts ParisTech, vise à répondre aux principaux défis de la transition énergétique en termes de recherche, d’enseignement et d’innovation, en rassemblant les expertises de 26 laboratoires. Soutenu financièrement par le Programme d’Investissement d’Avenir, du mécénat industriel et des contrats de recherche, l’objectif est de placer E4C au plus haut niveau d’excellence parmi les initiatives mondiales similaires, grâce à une recherche interdisciplinaire. Le but d’E4C est de permettre une analyse systémique des verrous à la transition énergétique et d’apporter l’expertise nécessaire en appui aux politiques publiques. Pour conduire ses recherches, ainsi que former des étudiants et des professionnels, le centre développe des plateformes instrumentales (comme des bancs de tests photovoltaïques ou des smartgrids électriques), une suite de modèles pour la prospective énergétique (comme la modélisation intégrée climat-énergie « E4Clim ») et la prévision (par exemple « E4Cast », pour la prévision immédiate et saisonnière) ainsi qu’un centre de données (« E4C DataHub »). Des « PhD Tracks » permettent aux étudiants de s’initier à la recherche dès la première année, renforçant la synergie entre formation et recherche. Un challenge international annuel pour les étudiants de différents établissements, disciplines et cycle de formation (ingénieur, masters) est organisé pour proposer des solutions aux grands défis sociétaux abordés dans E4C. En résumé et en chiffres, entre 2019 et 2021, E4C c'est :

- ✿ 164 personnels permanents
- ✿ 48 thèses
- ✿ 23 publications
- ✿ 8 axes de recherche
- ✿ 4 PhD tracks annuels
- ✿ 4 smartgrids E4C sur le campus IP Paris et à Tahiti
- ✿ 2 filières de modélisation (E4Cast, E4Clim)
- ✿ 2 chaires de mécénat
- ✿ 2 parcours entreprenariat sur l’énergie
- ✿ 1 master Sciences and Technology for Energy
- ✿ 1 DataHub
- ✿ 1 summer school
- ✿ 1 challenge étudiant

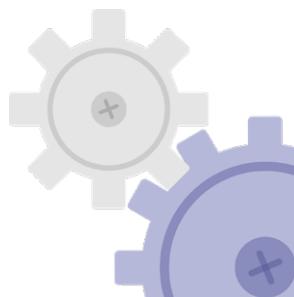


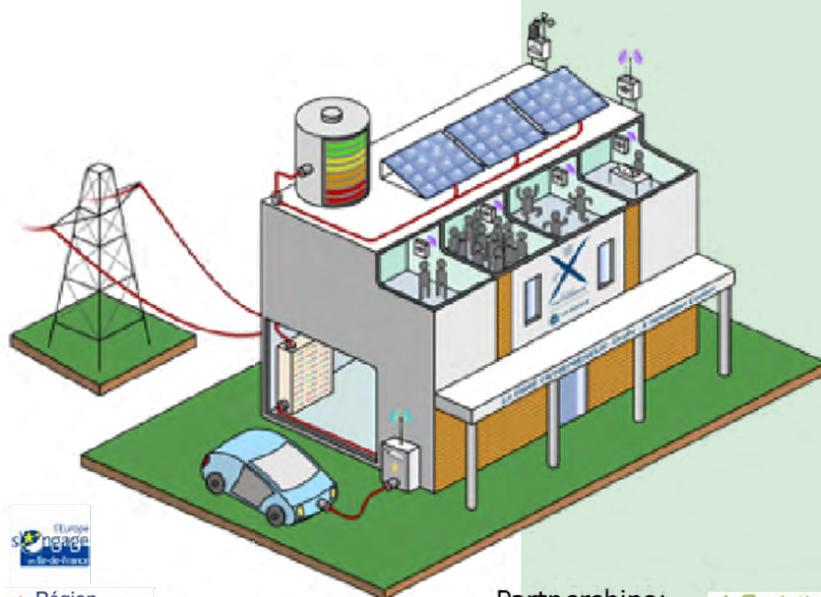
ÉTAT D'AVANCEMENT DU PROJET

Organisation et pilotage du projet. Lancement, organisation et gouvernance du projet, pilotage et dispositifs de suivi, mode d'implication des directeurs d'unités de recherche concernés.

La gouvernance du centre remplit plusieurs missions. Premièrement, elle soutient les activités de recherche et de formation du centre en favorisant la collaboration interdisciplinaire tout en assurant l'intégrité ainsi que les pertinences scientifique et sociétale de ses activités. La gouvernance veille également à prévenir les conflits d'intérêts et à garantir l'indépendance de la recherche et de l'enseignement du centre. La gouvernance du centre se divise en quatre instances :

- ✿ Comité des tutelles : Il s'agit du comité décisionnaire du centre regroupant le coordinateur du centre, un représentant de chaque tutelle industrielle et institutionnelle. Une fois par an, le comité discute des stratégies et des évolutions importantes du centre : comme les négociations d'intégration d'une nouvelle institution ou de nouveaux mécènes. Pour un fonctionnement plus agile, un bureau des tutelles a été constitué avec la direction du centre, ainsi qu'un représentant de chaque tutelle : IP Paris, le CNRS et École des Ponts.
- ✿ Comité d'experts externes : Ces experts externes sont des références dans les domaines de l'énergie, du climat et de l'environnement. Se réunissant une fois par an, le comité émet des avis et des recommandations sur les orientations scientifiques et les partenaires du centre.
- ✿ Comité des mécènes : Les représentants de chaque mécène se réunissent une fois par an afin de discuter les avancées de travaux et d'émettre, si besoin, des recommandations d'évolution.
- ✿ Comité de direction : Également appelé CODIR, ce comité rassemble les directions du centre, technique, opérationnelle ainsi que la direction scientifique adjointe. Les membres se réunissent mensuellement pour discuter du pilotage et de la stratégie du centre, des décisions du comité des tutelles et des mécènes, ainsi que des questions d'intérêt général appuyées par les experts externes et enfin de l'élaboration et de la réalisation du budget du centre. Deux fois par an, le CODIR accueille les directeurs de laboratoire membres du centre et les présidents des départements d'enseignement et recherche d'IP Paris et l'École des Ponts pour devenir le CODIR+.





Région
Île-de-France

Partnerships:



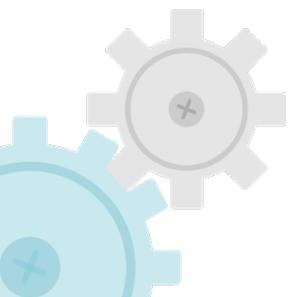
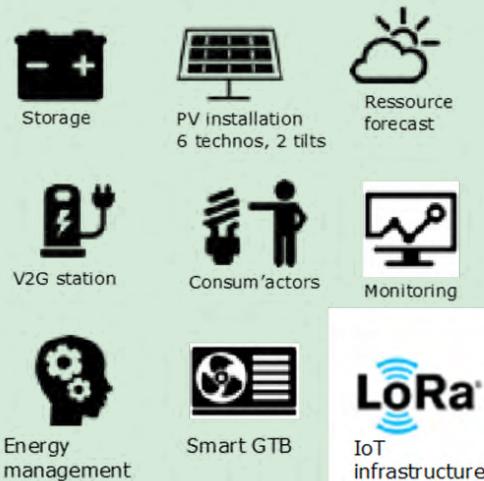
Le démonstrateur du Drahi X-Novation Center a été conçu en 2019. Il fait partie du projet GPS (Grid Power for Sustainability), avec le soutien financier du programme européen FEDER par le biais de la région Île-de-France. Ce projet est une collaboration entre 5 start-ups et PME ainsi que le centre CESI de Nanterre. Toutes les start-up (à l'exception de Luceor qui a dû fermer pendant la crise du COVID-19) apportent leur expertise pour compléter le démonstrateur : gestion et contrôle de l'énergie des batteries (Elum Energy), comptage intelligent (Dotvision), mobilité électrique (Clem), tableaux de bord et analyses énergétiques incluant la blockchain (Evolution Energy). En 2021, il a été décidé d'installer la Smart BMS d'Accenta (Effipilot), qui permet d'accéder à plus de données en relation avec le système de chauffage, de ventilation et de climatisation.

Recherche

Depuis le début du projet, les responsables de 8 axes de recherche (Research Actions) ont été nommés et ont conduit la prospective du centre E4C pour les 5 prochaines années sur la base du bilan des actions réalisées depuis la création du centre et du programme TREND-X qui a servi d'incubateur au centre E4C. 135 personnes ont contribué à la rédaction du livre blanc sous la coordination de 35 auteurs. Le livre blanc a été restitué à la première assemblée générale (AG) d'E4C les 11 et 12 février 2021 et la version finale mise en ligne le 15 septembre 2021. Depuis l'AG, l'animation scientifique des Research Actions a commencé avec des séminaires internes aux Research Actions. Des journées scientifiques trans-axes de recherche seront planifiées à partir de 2022.

Concernant le développement des plateformes technologiques en soutien aux axes de recherche, l'année 2020 a vu la finalisation du smartgrid électrique sur le bâtiment Drahi X-Novation Center, incluant production électrique photovoltaïque, stockage électrochimique par batteries et un véhicule électrique en autopartage en mode charge ou décharge (vehicle2grid). Ce projet a été réalisé en coopération avec 5 startups françaises et grâce à du financement FEDER (Union Européenne et région Île-de-France) et de TotalEnergies (mécénat). Le smartgrid électrique sur le bâtiment 103 hébergeant les étudiants est en cours de finalisation dans le cadre d'un contrat avec TotalEnergies. Ces smartgrids font l'objet de thèses qui exploitent les nombreuses données de consommation et production d'énergie et mobilisent des chercheurs d'expertises variées.

Enfin, l'infrastructure de données E4C DataHub a été élaborée et son accès est possible depuis juillet 2021. Le E4C DataHub,



Rapport d'activité 2020-2021

vise à développer un ensemble de services pour l'exploitation massive de données appariées climat-énergie-économie pour accélérer la transition énergétique, en lien avec les industriels et les agences publiques. Le développement de cette plate-forme numérique permettant un accès facile à des données et fournissant des services à des producteurs et des utilisateurs de données (intégration de données, valorisation scientifique et économique, appariements, traitement et fourniture d'accès aux jeux de données sur la plateforme). Trois projets ont été finalisés ou sont en cours de réalisation et visibles sur le site internet d'E4C. Quatre autres projets sont encore en cours d'expertise avant intégration prochainement.

Dans le cadre du développement de modèles numériques en soutien à la prévision et à la prospective, des avancées très significatives ont été réalisées dans le développement du modèle intégré E4Clim avec des applications en Italie, Maroc, Espagne et France en collaboration en particulier avec l'Université des Baléares. 5 publications sont parues depuis 2019 sur les applications du modèle E4Clim.

En termes de productions scientifiques, le centre E4C a publié 21 articles dans des revues internationales (dont 17 avec doi) et remerciant explicitement l'EUR. De plus, sept contributeurs de laboratoires d'E4C ont collaboré à la rédaction du 1^{er} rapport du MedECC (GIEC de la Méditerranée), paru en novembre 2020.

Offre de Formation

L'offre de formation du centre E4C se compose de filières pré-existantes à l'EUR, au sein du cycle ingénieur et master. Pour les filières existantes, l'EUR propose une médiathèque mutualisée, la MediaLib, de supports pédagogiques à disposition des enseignants et d'autre part un challenge international étudiant E4C permettant de faire travailler ensemble les étudiants de toutes les filières (ingénieurs, masters) et disciplines. Cette médiathèque doit permettre à des enseignants d'accéder à des supports qu'ils peuvent utiliser dans l'élaboration de cours, de travaux pratiques ou d'examens. Les types supports pédagogiques sont les suivants :

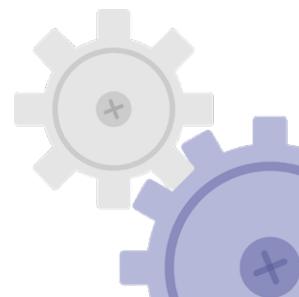
- ✿ présentations de cours,
- ✿ polycopiés de TP,
- ✿ jeux de données,



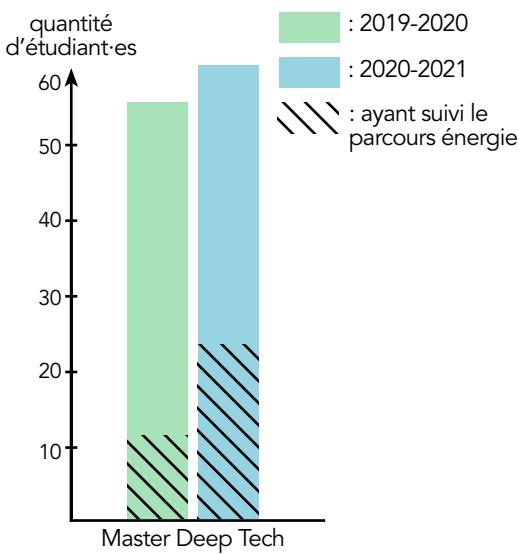
Le bâtiment résidentiel 103, pouvant accueillir 500 personnes dans 126 appartements, est l'objet d'un programme de R&D pour l'autoconsommation collective et la gestion de l'énergie : le SmartBuildin103. Le bâtiment est capable de produire sa propre électricité grâce à une installation photovoltaïque en toiture et d'en stocker une partie dans un système de batterie électrochimique. Dix bornes de charge de véhicules électriques ont été installées dans le parking. En matière de chauffage, tous les radiateurs ont été équipés de vannes thermostatiques connectées. Une application sera proposée aux occupants pour les informer sur comment l'ensemble du bâtiment utilise l'énergie et pour qu'ils puissent contrôler à distance les vannes de leur appartement. Ce programme de 5 ans initié en 2022 est une collaboration entre trois laboratoires du centre E4C (le CREST, le CRG et le LMD) et TotalEnergies.

Le E4C DataHub est une plateforme de partage des données du centre Energy4Climate regroupant les données de tous les démonstrateurs et plateformes du centre, des données météorologiques ainsi que des données de consommation et de production des bâtiments connectés.

Les données à disposition sont aussi des biens des flux de données temps réel que des jeux de données préparés permettant, par exemple, à des chercheurs en mathématiques appliqués d'entraîner leurs algorithmes de Machine Learning sur un jeu de données de production d'un parc éolien ! Les utilisateurs peuvent également demander l'accès aux données avec ou sans mise en relation avec les chercheurs possédant l'expertise sur ces données.



La Médialib est un espace de partage, à disposition de la communauté d'enseignants travaillant sur les thématiques de transition énergétique (EUR E4C), et du climat et de l'environnement (EUR IPSL-CGS). L'idée est de répondre au besoin des scientifiques d'avoir un espace de pérennisation et de partage des supports d'enseignement ou de médiation, des séminaires... pour les mettre à disposition d'autres collègues, comme sources de consultation fiable lors de la création de nouveaux supports. La Médialib est opérationnelle depuis septembre 2022. Elle a suscité un grand intérêt avec 32 utilisateurs inscrits et une cinquantaine de supports déposés : des cours magistraux d'unités d'enseignement ou écoles thématiques, des quizz, des exercices des jeux de réalité ou des TP/TD au format Jupyter NoteBooks... Les premiers échanges entre professeurs ont été recensés



- ✿ vidéo,
- ✿ Jupyter notebook,
- ✿ serious games.

Cette médiathèque est en cours d'élaboration et devrait être rendue accessible à la communauté E4C en 2022. Pour créer une cohésion plus grande entre les étudiants des différentes filières (ingénieurs, masters) et disciplines du centre E4C (étudiants IP Paris et ENPC) et offrir un cadre collaboratif plus large à la fois régionalement et internationalement, un challenge international étudiant E4C a été créé en 2019.

En plus des filières de formation pré-existant au centre E4C, en 2019, un certificat d'entreprenariat dans le secteur de l'énergie ainsi qu'un parcours « énergie » dans le Master Deep Tech ont été lancés avec succès, dans le cadre du projet EUR. Pour le parcours « énergie », 11 étudiants l'ont suivi en 2019-2020 sur 55 étudiants du Master Deep Tech et en 2020-2021, 23 étudiants l'ont suivi sur 60. Pour le certificat, 45 l'ont suivi en 2019-2020 et 41 en 2021-2022. Pour ces deux premières années, la fraction d'étudiants internationaux dans les filières « entreprenariat » d'E4C était de 10 %. C'est un axe d'amélioration à réaliser au regard des objectifs d'internationalisation du centre E4C. Le Master Sciences and Technology for Energy a été créé dans le cadre de l'EUR et ouvert en 2020. Pour 2020-2021 il y avait 1 M1 (international, ressortissant UE) et 24 M2 (dont 10 français et 14 internationaux hors UE). Pour 2021-2022, il y a 10 M1 (tous internationaux dont 9 hors UE) et 15 M2 (4 français et 11 internationaux hors UE). L'indicateur d'internationalisation du Master Sciences and Technology for Energy d'E4C identifié dans l'EUR est donc atteint bien plus rapidement que proposé dans le projet EUR.

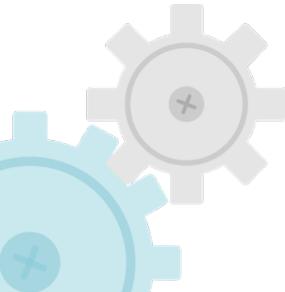


Articulation recherche-formation

L'articulation recherche-formation se construit autour de deux actions :

1. l'organisation d'écoles d'été ouvertes aux étudiants de master et doctorat : la Summer School
2. l'encadrement de stages de master dans les laboratoires d'E4C

Le comité de direction a décidé qu'une école d'été E4C serait



organisée chaque année, avec des thèmes variant d'une année à l'autre sur un cycle de 3-4 ans (après les thèmes sont repris), et ceci en plus des contributions des laboratoires E4C à des écoles d'été existantes. En 2021, E4C a organisé du 5 au 9 juillet 2021 sa première école d'été intitulée « From Smart Buildings to Smart Cities (SB2SC) ». L'objectif de l'école d'été était de proposer des visions interdisciplinaires et systémiques sur la complexité du développement des bâtiments et des villes intelligentes. L'école d'été a consisté en 30 heures de contenu en ligne, a accueilli 37 étudiants en master et doctorat de 13 nationalités et de 15 institutions dans 5 pays européens (18 étudiants en master et 19 étudiants en doctorat). À cette école d'été, 35 intervenants ont pris la parole, issus de 16 institutions industrielles et académiques en France, Suisse, Pays-Bas, Maroc et Chine. En plus des interventions sous forme de webinaires, les participants ont également eu l'opportunité de présenter leurs travaux de recherche sous forme de conférence sur des créneaux horaires dédiés. Deux webinaires en ouverture et clôture de l'école d'été ont été ouverts au grand public. Pour son école d'été 2022, le centre interdisciplinaire E4C s'allie au Campus de la Transition, lieu académique et d'innovation en sciences humaines et sociales situé dans le domaine de Forges en Seine-et-Marne. Le centre E4C s'appuyant davantage sur les sciences de l'ingénieur, cette collaboration permettra de proposer aux étudiants participants une réflexion sur la complémentarité de deux types d'innovations : « *high-tech* », concernant l'ensemble des technologies et techniques les plus avancées et « *low-tech* », visant à répondre aux besoins des solutions technologiques moins avancées et moins coûteuses, tout en prenant en compte les questions sociales.

Le deuxième axe de travail sur le lien recherche-formation est l'encadrement de stagiaires de master. Le financement des stages repose sur 2 sources de financement, l'EUR et le mécénat d'entreprise, l'ensemble permettant de financer une quinzaine de stages de master. Un appel à projets de stage est envoyé à la communauté E4C chaque année en octobre depuis 2019.



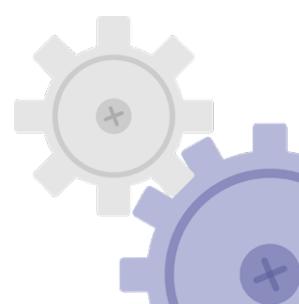
La première Summer School E4C « From Smart buildings to Smart Cities » accueille une soixantaine de conférenciers et de participants

Du 5 au 9 juillet 2021, E4C a organisé sa première Summer School « From Smart buildings to Smart Cities » (SB2SC).

Cette Summer School s'est focalisée sur la consommation d'énergie, les bâtiments intelligents et les réseaux dans les villes du futur pour une transition énergétique dans le cadre de l'urgence climatique.

L'objectif principal était de faire un état des lieux des technologies, de leur maturité et intérêt, les leviers et les freins technologiques ou sociétaux pour leur implantation immédiate ou dans un futur proche, pour un usage individuel ou collectif.

De la Chine à la Suisse, une trentaine de conférenciers académiques ou industriels sont intervenus dans la SB2SC. Les trente participants ont bien représenté la transversalité de leurs sujets de recherche, du numérique à l'architecture, des sciences fondamentales aux sciences sociales.



Jusqu'à ce jour le financement a permis de financer l'intégralité des stages proposés, sachant que des critères doivent être observés : travail rassemblant au moins 2 laboratoires d'E4C pour assurer au maximum la démarche collaborative et interdisciplinaire et bien évidemment l'adéquation entre le sujet et les axes de recherche d'E4C. En 2020, 4 stages de master ont été financés par les mécènes d'E4C (la mise en place des stages a été fortement perturbée par la crise sanitaire), et en 2021, 12 stages ont été financés dont 6 sur l'EUR. Par ailleurs, la mobilité internationale d'étudiants n'a pu être soutenue du fait de la crise sanitaire.

Evolution des méthodes pédagogiques

L'évolution des méthodes pédagogiques se concentrent autour de 3 actions principales : la médiathèque mutualisée de supports pédagogiques, les projets immersifs s'appuyant sur les plateformes technologiques E4C et un challenge international étudiant E4C permettant de faire travailler ensemble les étudiants de toutes les filières et disciplines.

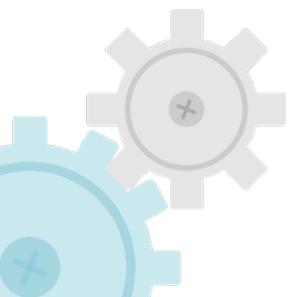
Le centre E4C organise chaque année un challenge étudiant mobilisant des équipes de différents établissements pour réfléchir aux grands enjeux de la transition énergétique. L'originalité de

cette méthode pédagogique est qu'elle permet de mettre en application l'approche interdisciplinaire et systémique. Ainsi le challenge international étudiant a pour objectif de faire travailler des équipes multi-écoles et multi-disciplinaires composées de maximum 7 étudiants. En 2019-2020, le thème était « Imagine une ville sans carbone ». Le challenge a réuni 106 étudiants en 18 groupes provenant de 10 établissements : les 5 écoles de l'Institut Polytechnique de Paris, l'École des Ponts et les établissements de la Programme Alliance (Sciences

Po. Paris, Université Paris 1, Columbia University). Le jury était composé d'experts externes de renom. Le jury a récompensé deux projets. Pour l'édition 2020-2021, le thème était « Atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 : des actions à l'échelle locale ». Pour ce challenge, le groupe des établissements s'est élargi à HEC et au consortium Eurotech (DTU, EPFL, Technion, TU/e,



© École polytechnique - J. Barande



TUM). 85 étudiants s'affrontaient dans 15 équipes, des étudiants de 6 pays. Une équipe a été récompensée, proposant une méthode originale de captation et valorisation du CO₂. L'édition 2021-2022 intègre l'École Nationale d'Administration de Pologne (KSAP) et le thème porte cette fois sur la mobilité bas-carbone.

Un deuxième axe est la constitution d'une médiathèque de supports pédagogiques partagés. La disponibilité des ressources pédagogiques est essentielle pour dynamiser l'échange entre enseignants ainsi que pour imaginer de nouveaux outils d'apprentissage ou compléter ceux qui existent déjà. Cette action transversale propose d'alimenter les cursus E4C avec des approches et des outils d'apprentissage centrés sur différents niveaux d'apprentissage comme ceux proposés dans la taxonomie de Bloom. Outre le développement de ressources e-learning (MOOC, SPOC), d'autres outils en ligne sont proposés dans l'action, notamment des « serious games » en ligne et des exercices de type jupyter-notebook, comme compléments de dynamisation pour des séances de type amphithéâtre. La médiathèque sera mise en ligne en 2022.

Enfin, les plateformes technologiques (*smartgrids*, banc de test, *DataHub*) permettent aux étudiants de créer, développer et tester de nouveaux concepts dans des conditions environnementales réelles dans le cadre de leurs projets d'enseignement, tels que des prototypes d'éoliennes, mini-modules photovoltaïques de nouvelle génération, des projets d'analyse de données, d'évaluation de performance et de développement de nouveaux algorithmes pour la gestion des *smartgrids*. Ces projets élaborés au sein des cursus E4C rencontrent un grand succès depuis 2019.

Valorisation

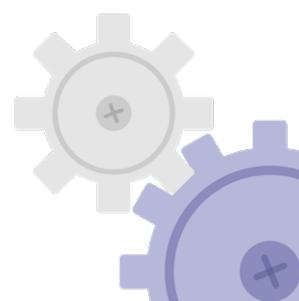
Les principales sources de valorisation actuelle de la recherche sont:

- ✿ Les publications scientifiques (21 mentionnant l'EUR + 6 publications de l'initiative TREND-X ayant servi de support à la constitution du centre E4C)
- ✿ La participation à de l'expertise avec en 2020, la contribution de 7 auteurs de laboratoires E4C au premier rapport d'évaluation du MedECC (GIEC Méditerranéen)
- ✿ L'obtention de brevets : à ce jour le brevet répertorié a été déposé dans la structure «antérieure» à E4C (TREND-X)

E4Clim est un modèle minimal de systèmes électriques à forte part en énergies renouvelables facilitant la prise en compte de la variabilité climatique.

E4Clim est un logiciel libre en Python intégrant les besoins de flexibilité associés aux énergies renouvelables variables dans le développement de bouquets énergétiques régionaux. C'est un outil flexible et extensible pour des chercheurs et ingénieurs, et pour l'éducation et la médiation. Le logiciel permet d'évaluer et d'optimiser des stratégies de déploiement d'énergies avec une forte part d'énergies renouvelables, d'évaluer l'impact de l'introduction de nouvelles technologies et de la variabilité climatique, et de faire des études de sensibilité. Il permet de résoudre des problèmes d'optimisation de bouquets énergétiques optimaux à partir d'estimations de variables énergétiques issues de données climatiques et énergétiques.

Alexis TANTET



- ✿ L'organisation de conférences internationales : en 2019, le centre E4C a organisé une conférence internationale sur le changement climatique et la transition énergétique en Méditerranée (orateurs invités)
- ✿ Le développement d'une recherche de pointe sur les smartbuildings en s'appuyant sur des plateformes technologiques différenciantes développées par le centre E4C
- ✿ L'organisation de séminaires/débat : le premier sur la gestion des déchets nucléaires aura lieu le 14 octobre 2021

La valorisation des activités de recherche du centre E4C via la formation consiste en :

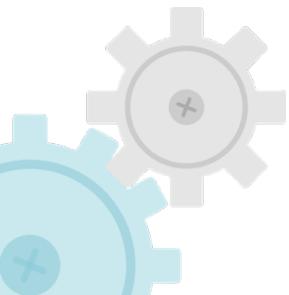
- ✿ un cycle de conférence pour les élèves ingénieurs et étudiants en master
- ✿ une école d'été annuelle E4C permettant de faire le lien fort entre recherche et enseignement
- ✿ des outils pédagogiques en ligne (serious game)

La valorisation des activités du centre E4C, que ce soit en matière de recherche, de formation ou d'innovation passe également par des outils de dissémination :

- ✿ page web du site E4C (<https://www.e4c.ip-paris.fr/>)
- ✿ réseau [LinkedIn](#)
- ✿ newsletter externe ([disponible sur le site web E4C](#))

Rayonnement, actions de promotion de l'EUR

En novembre 2019, le centre E4C, en partenariat avec le programme MISTRALS de l'INSU, a organisé un workshop international intitulé « *Climate change and energy transition on the Mediterranean : cross fertilization* ». L'organisation d'un tel workshop était motivée par le fait que la région méditerranéenne est un des points chauds du changement climatique associé à une baisse des précipitations moyenne annuelle, ainsi qu'une hausse de l'intensité des précipitations extrêmes et de la fréquence d'épisodes de canicules et sécheresse. Par ailleurs les pratiques économiques et les politiques actuelles suivent les modèles de développement conventionnels, lesquels engendrent une hausse des émissions à effet de serre, la raréfaction des ressources naturelles, avec pour conséquences des impacts sociaux et environnementaux dramatiques. Cette pression contribue à la surexploitation de la ressource en eau, déjà rare, et à l'augmentation de la demande en énergie pour laquelle l'approvisionnement n'est pas toujours garanti. Ces deux jours ont été l'occasion d'une rencontre entre universitaires, industriels, et décideurs publics afin de comprendre la complexité systémique de la transition énergétique dans cette

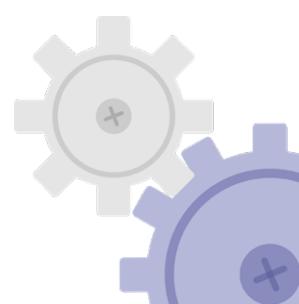
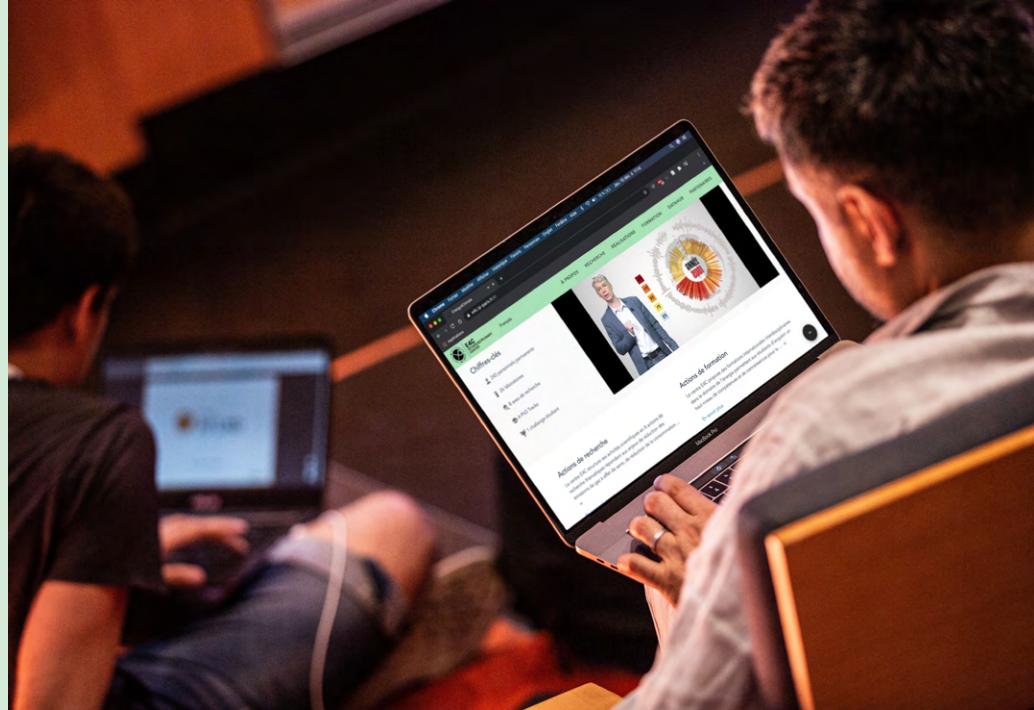


région amplificatrice du réchauffement climatique, de discuter la réalité d'une identité méditerranéenne sur ces enjeux et d'identifier les options de mise en œuvre de solutions durables. Les bénéfices concrets du colloque ont permis aux participants de contribuer au creuset d'idées sur la question, d'identifier les principaux défis des années à venir et de discuter des conditions pour des solutions durables.

Le workshop s'est tenu les 21 et 22 novembre 2019 à l'École polytechnique. Les contributions orales étaient uniquement sur invitation pour proposer des interventions de très haut niveau par des intervenants ayant une vue systémique de la question. Ainsi sont intervenus par exemple Fatima DRIOUECH, vice-présidente du groupe 1 du GIEC, auteure principale du cinquième et sixième rapports, Michal KURTYKA, président de la COP24, Ministre du Climat polonais, Giorgio GRADITI, président de MEDENER (Mediterranean

Association of National Agencies for Energy Management), Houda ALIAL, directrice de l'Observatoire méditerranéen de l'énergie, Grammenos Mastrojeni, secrétaire général adjoint de l'Union pour la Méditerranée, en charge de l'action climat et énergie, Badr IKKEN, directeur général IRESEN (Institut de recherche en energie solaire et energies nouvelles), Albert SORET MIRAVET, coordinateur Earth System Services Group, Eric Magnus FERNSTROM, expert énergie à la Banque Mondiale. Enfin pour renforcer le lien formation-recherche, le workshop a été également ouvert aux étudiants d'IP Paris (cycle ingénieur et masters). Le nombre d'étudiants venus ponctuellement en fonction de leur disponibilité dans leur emploi du temps n'a pas été recensé.

D'autres actions entreprises par l'EUR contribuent très fortement à la valorisation, comme le challenge international étudiant.



IMPACTS DU PROJET

Impacts sur le lien entre recherche et formation

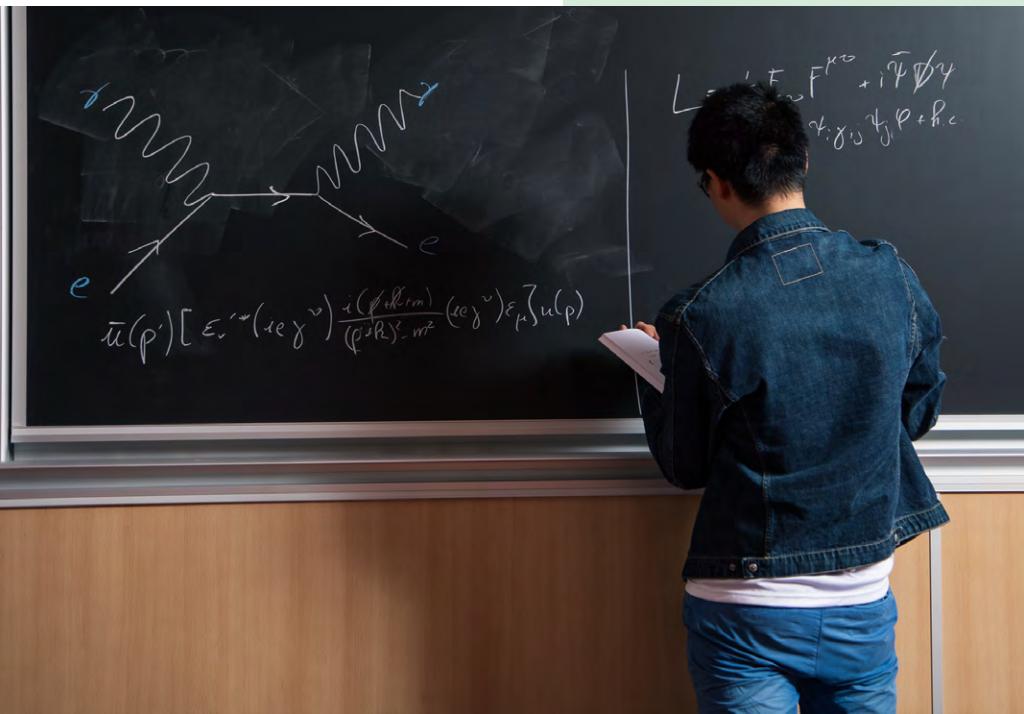
Le *PhD track* a été mis en place dans l'EUR E4C pour assurer un pré-recrutement en doctorat dès la sortie de *bachelor* ou licence ou 1^{ère} année de Master de candidats les plus brillants.

Par ailleurs, les étudiants du *PhD track* E4C doivent conduire un projet dans un des laboratoires d'E4C durant leur une deux premières années (selon si le recrutement est effectué en fin de *bachelor* ou en fin de 1^{ère} année de Master). Ceci permet un lien fort entre formation et recherche. Dans le cadre de l'EUR, 4 *PhD tracks* ont été attribués depuis la mise en place en 2020. Octobre 2021 correspond à l'inscription en thèse des premiers *PhD tracks* d'E4C. Sur les 4 étudiant·es du *PhD track* E4C, deux restent

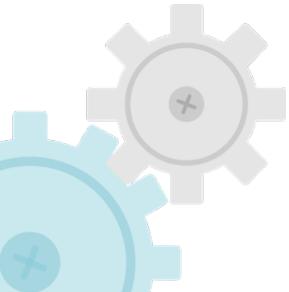
en thèse dans des laboratoires E4C, une étudiante effectue sa thèse au CEA hors laboratoires d'E4C, et une étudiante est en recherche d'un laboratoire E4C d'accueil. La filière *PhD track* permet donc de faire un lien direct et étroit entre formation et recherche au sein du centre E4C.

Impacts sur l'ouverture de l'École Universitaire de Recherche. Impacts en termes de partenariats académiques (recherche et formation) et socio-économiques, éventuelles actions transformantes en matière d'interdisciplinarité.

Les partenariats académiques identifiés dans le projet EUR avec en particulier les établissements du consortium Eurotech et Alliance et récemment avec l'École Nationale d'Administration de Pologne (KSAP) ont pu se renforcer autour d'E4C avec d'une part la participation de ces établissements au challenge E4C, d'autre part la mobilité (malheureusement avortée du fait de la pandémie) et enfin par la soumission de projets collaboratifs ou la conduite d'initiatives communes. Ainsi, un projet européen d'*Innovative Training Networks* (ITN) sur les smartgrids incluant E4C et 3 autres universités du consortium Eurotech (DTU, TUM, TU/e) a été déposé en 2020 (malheureusement le projet n'a pas été retenu). Philippe DROBINSKI (E4C-IP Paris) et Vedran PERIC



© Ecole polytechnique / Institut Polytechnique de Paris / J.Barande



(TUM-Eurotech) ont organisé une *special issue* dans la revue *Energies* intitulée « *Systemic Issues to Wind and Solar Energy Deployment* ».

Impacts sur le rayonnement de l’École Universitaire de Recherche. Visibilité, attractivité et reconnaissance aux niveaux national et international, sur les plans scientifique et pédagogique ; événements marquants.

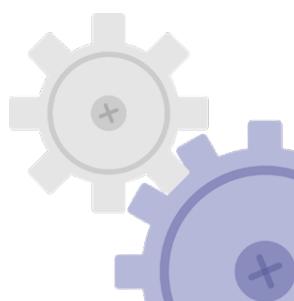
Si la situation sanitaire a compromis toutes les actions de mobilité participant à la visibilité, l'attractivité et la reconnaissance internationale, les événements marquants participant à cette démarche sont :

- ✿ Un journée de séminaires ouverts en virtuel organisé par le centre E4C pour la Fête de la Science en 2020 qui a été très largement suivie
- ✿ Une école d'été E4C intitulée « *From Smart Buildings to Smart Cities (SB2SC)* » qui a accueilli 37 étudiants en master et doctorat de 13 nationalités et de 15 institutions dans 5 pays européens (18 étudiants en master et 19 étudiants en doctorat) et durant laquelle 35 intervenants ont pris la parole, issus de 16 institutions industrielles et académiques en France, Suisse, Pays-Bas, Maroc et Chine
- ✿ Une conférence internationale organisée par le centre E4C à l’École polytechnique en novembre 2019, intitulée « *Climate change and energy transition in the Mediterranean : cross fertilization* » et qui a réuni plus de cent participants d’Europe et du pourtour méditerranéen
- ✿ Un challenge international étudiant qui rassemble chaque année depuis 2019 une centaine d’étudiants de filières disciplinaires variées, de cursus d’enseignement variés (ingénieurs, master, master executif) d’une quinzaine d’établissements en France et à l’étranger (Danemark, Allemagne, Suisse, États-Unis, Israël, Pays-Bas, Pologne) pour proposer des solutions aux grands défis de la transition énergétique

En 2021, la constitution d'un comité d'experts externes (dont 50 % internationaux) devrait encore favoriser la visibilité et le rayonnement du centre E4C.

Impacts sur l'évolution des pratiques pédagogiques dans le/les établissements.

La mise en place du centre E4C, ainsi que le développements d'outils mutualisés (vidéos, plateformes pédagogiques...) ont permis la réflexion autour d'un séminaire de rentrée sur le développement durable et de façon encore plus structurante la mise en place d'un certificat pour les filières ingénieurs qui permettent à tout.e élève du cycle ingénieur quelque que soit



son parcours de spécialisation de se former aux problématiques du changement climatique, de la transition environnementale en général et de la transition énergétique en particulier. Si la mise en place du certificat prend forme dans 3 écoles d'IP Paris, l'harmonisation doit s'accélérer.

INDICATEURS

Production scientifique - Reconnaissance académique

À ce jour, le centre E4C, comme centre interdisciplinaire, ne compte pas de coordinateurs d'ERC, de projets Européens hors ERC et aucun des chercheurs et des chercheuses n'a été récompensé sous l'étiquette E4C. En revanche, des chercheurs·euses, enseignants·es-chercheurs·euses, ingénieur·es ont reçu des distinctions au sein de leur laboratoire. La communauté E4C se structurant, il est encore un peu tôt pour associer l'obtention d'une distinction aux activités du centre E4C. Ce recensement est plus aisé pour le portage de projet dans la mesure où des indicateurs permettent d'objectiver le portage du projet aux activités du centre. À ce jour, le seul prix attribuable à la dynamique du centre E4C est le prix Nord-Sud du conseil de l'Europe décerné au MedECC pour ses travaux sur l'évaluation des changements climatiques et environnementaux dans la région Méditerranée. Comme pour le prix Nobel de la Paix 2007 décerné au GIEC, seuls les auteurs coordinateurs de chapitre et les auteurs coordinateurs sont corécipiendaires du prix. Les corécipiendaires ayant contribué au chapitre « *Energy transition* » sont Philippe DROBINSKI (LMD-IPSL, coordinateur du chapitre et directeur d'E4C), Vincent BOUCHET (CREST and I³), Edouard CIVEL (LIX), et Robert VAUTARD (IPSL). Cette contribution est attribuable au centre E4C dans la mesure où la rédaction de ce chapitre est le résultat du workshop international organisé à l'École polytechnique en novembre 2019 par le centre E4C et intitulé « *Climate change and energy transition in the Mediterranean : cross fertilization* ». Ce workshop a réuni environ 100 personnes.

Production scientifique - Reconnaissance académique (Noms des lauréats) - Autres prix internationaux

Prix Nord-Sud du conseil de l'Europe décerné au MedECC pour ses travaux sur l'évaluation des changements climatiques et environnementaux en Méditerranée. Les co-récipiendaires E4C ayant contribué au chapitre « *Energy transition* » sont P. DROBINSKI (coordinateur du chapitre), V. BOUCHET, E. CIVEL et R. VAUTARD. Ce chapitre est le résultat direct du workshop international « *Climate change and energy transition in the Mediterranean : cross fertilization* » organisé par le centre E4C.

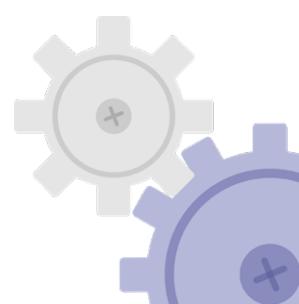
Production scientifique - Reconnaissance académique

(Noms des lauréats) - Médailles décernées par les organismes de recherche et/ou académies (CNRS...)

Si les laboratoires E4C ont vu certains de leurs agents distingués par des médailles décernées par les organismes et/ou académies (e.g. médaille de Cristal du CNRS au LMD, ...), leur attribution au centre E4C est prématuée.

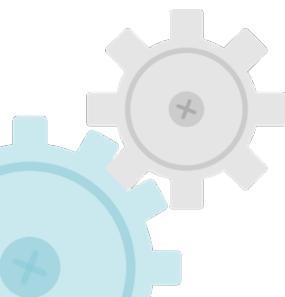


© École polytechnique - J.Barande



Publications

- Alatrista-Salas, H. et al. (2021) 'Impact of natural disasters on consumer behavior: Case of the 2017 El Niño phenomenon in Peru', PLOS ONE. Edited by J.M. Riascos, 16(1), p. e0244409. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244409>.
- Alonso, B. et al. (2020) 'Measuring the Risk of Supply and Demand Imbalance at the Monthly to Seasonal Scale in France', Energies, 13(18), p. 4888. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13184888>.
- Bouramdané, A., Tantet, A. and Drobinski, P. (2020) 'Adequacy of Renewable Energy Mixes with Concentrated Solar Power and Photovoltaic in Morocco: Impact of Thermal Storage and Cost', Energies, 13(19), p. 5087. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13195087>.
- Bouramdané, A., Tantet, A. and Drobinski, P. (2021) 'Utility-Scale PV-Battery versus CSP-Thermal Storage in Morocco: Storage and Cost Effect under Penetration Scenarios', Energies, 14(15), p. 4675. Available at: <https://doi.org/10.3390/en14154675>.
- Calderon-Obaldia, F. et al. (2020) 'A Two-Step Energy Management Method Guided by Day-Ahead Quantile Solar Forecasts: Cross-Impacts on Four Services for Smart-Buildings', Energies, 13(22), p. 5882. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13225882>.
- Cros, S. et al. (2020) 'Reliability Predictors for Solar Irradiance Satellite-Based Forecast', Energies, 13(21), p. 5566. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13215566>.
- Dridi, A. et al. (2020) 'Machine Learning Application to Priority Scheduling in Smart Microgrids', in 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Limassol, Cyprus: IEEE, pp. 1695–1700. Available at: <https://doi.org/10.1109/IWCMC48107.2020.9148096>.
- Dupré, A. et al. (2020) 'The Economic Value of Wind Energy Nowcasting', Energies, 13(20), p. 5266. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13205266>.
- Duran, S. et al. (2021) 'Electrochemical Active Surface Area Determination of Iridium-Based Mixed Oxides by Mercury Underpotential Deposition', ChemElectroChem, 8(18), pp. 3519–3524. Available at: <https://doi.org/10.1002/celc.202100649>.
- Esmaelpour, H. et al. (2020) 'Investigation of the spatial distribution of hot carriers in quantum-well structures via hyperspectral luminescence imaging', Journal of Applied Physics, 128(16), p. 165704. Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0022277>.
- Fatras, K. et al. (2021) 'Wasserstein Adversarial Regularization for learning with label noise', IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1–1. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3094662>.
- Giteau, M. et al. (2020) 'Identification of surface and volume hot-carrier thermalization mechanisms in ultrathin GaAs layers', Journal of Applied Physics, 128(19), p. 193102. Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0027687>.
- Le Gal La Salle, J. et al. (2020) 'Added-value of ensemble prediction system on the quality of solar irradiance probabilistic forecasts', Renewable Energy, 162, pp. 1321–1339. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.042>.
- Maimó-Far, A. et al. (2020) 'Predictable and Unpredictable Climate Variability Impacts on Optimal Renewable Energy Mixes: The Example of Spain', Energies,



- 13(19), p. 5132. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13195132>.
- Potrzebowska, N. et al. (2021) 'Mixing nanostructured Ni/piezoPVDF composite thin films with e-beam irradiation: A beneficial synergy to piezoelectric response', Materials Today Communications, 28, p. 102528. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102528>.
- Suchet, D. et al. (2020) 'Defining and Quantifying Intermittency in the Power Sector', Energies, 13(13), p. 3366. Available at: <https://doi.org/10.3390/en13133366>.
- Tantet, A. and Drobinski, P. (2021) 'A Minimal System Cost Minimization Model for Variable Renewable Energy Integration: Application to France and Comparison to Mean-Variance Analysis', Energies, 14(16), p. 5143. Available at: <https://doi.org/10.3390/en14165143>.

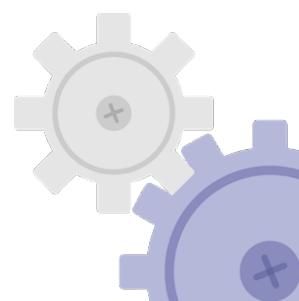
Publications avec domaines scientifiques

- Bernard, A. et al. (2021) 'Embedding ML Algorithms onto LPWAN Sensors for Compressed Communications', in. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Available at: <https://dx.doi.org/10.1109/PIMRC50174.2021.9569714>.
- Chapel, L. et al. (2021) 'Unbalanced Optimal Transport through Non-negative Penalized Linear Regression'. Available at: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2106.04145>.
- Flamary, R. et al. (2021) 'Pot: Python optimal transport', Journal of Machine Learning Research, 22(78), pp. 1–8.
- Vincent-Cuaz, C. et al. (2021) 'Online Graph Dictionary Learning'. Available at: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2102.06555>.

Monographies, ouvrages collectifs ou actes mentionnant le soutien financier du PIA pour le projet - Détail

- MedECC (2020) Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report. Zenodo. Available at: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4768833>.

- Walrafen, T. (ed.) (2020) Finance climatique. Paris: Association d'Économie Financière (Revue d'économie financière, no 138 = 2020, 2e trimestre).



EFFECTIFS – NOMBRE ET DIVERSITÉ

- ✿ ETP personnel statutaire : 50 %
- ✿ ETP personnel industriel : 30 %
- ✿ ETP personnel CDD/doc/post-doc : 100 %

	CODIR	RA1	RA2	RA3	RA4	RA5	RA6	RA7	RA8	EDU	DATA	EXP	MOD	COMM	TOTAL
C	2	10	9	1	4	1	19	2	3	3			1		55
EC	5	4	5	16	6	13	5	4	3	4					65
IGR	1	0	2		2	5	3	1			8				22
IND		8				2									10
SOUTIEN											3			9	12
CDD	1									1	1	2		1	6
Doctorant		11	5	5		2	11	5	9						48
Post-doc-torant		3		1			2		2						8
TOTAL	9	36	21	23	12	23	40	12	17	8	12			10	226

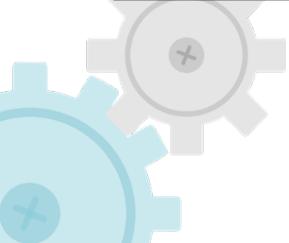
FORMATION – FLUX D'ÉTUDIANTS, ENSEIGNANTS, CHERCHEURS

1^{er} cycle dans E4C (IP Paris/ENPC)

Master	M1 candidats	M1 admis	M2 candidats	M2 admis
Master Energy IPP				12
Master TET				
Master TRAD				
Master WAPE				
Track energy				15
Certificat energy				5
MScT STEEM				
MScT SCUP				
TOTAL	0	0	27	15

1^{er} cycle hors E4C (IP Paris/ENPC)

Master	M1 candidats	M1 admis	M2 candidats	M2 admis
Master Energy IPP	43	1	55	15
Master TET	31	1	77	25
Master TRAD	31	1	95	28
Master WAPE			41	16
Track energy			60	20
Certificat energy				
MScT STEEM	98	26	20	8
MScT SCUP	43	9	9	
TOTAL	246	38	297	92



1^{er} cycle à l'étranger

Master	M1 candidats	M1 admis	M2 candidats	M2 admis
Master Energy IPP	43	1	48	12
Master TET				
Master TRAD				
Master WAPE			20	3
Track energy			7	2
Certificat energy				
MScT STEEM	88	23	18	7
MScT SCUP	32	7	6	
TOTAL	163	31	92	22

Statistiques sur les thèses et doctorants financés

Nombre de thèses financées entièrement ou au moins pour moitié par le projet, initiées sur l'année de suivi : 0

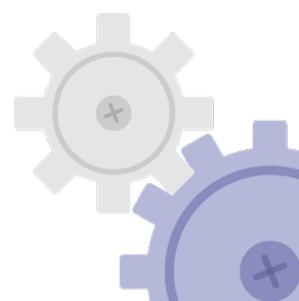
Nombre de thèses CIFRE ou équivalent initiées l'année de suivi : 7

Nombre de thèses financées entièrement ou au moins pour moitié par le projet, soutenues sur l'année de suivi : 0

Nombre de thèses CIFRE ou équivalent soutenues l'année de suivi : 0

Doctorat - Financement des thèses (Commentaires)

Aucun financement de thèse n'est prévu sur le projet EUR. Toutes les thèses sont financées soit via les écoles doctorales, soit via les ressources propres apportées par le centre E4C (hors EUR) (mécénat, contrats de recherche). Le nombre de thèses E4C (celles couvrant au moins 2 ans depuis la création du centre E4C) est de 39 (dont 1 soutenue en mars 2021). Avec probablement une incertitude non négligeable lors du recensement des contrats doctoraux, 7 sont financées au travers d'une bourse CIFRE. Il est à noter qu'au moins 2 thèses de plus sont financées directement par un contrat industriel (mais les doctorant·es sont employé·es par l'établissement d'enseignement et de recherche). Enfin 5 thèses sont financées ou co-financées par du mécénat industriel.



LISTE DES INDICATEURS SPECIFIQUES

La liste des indicateurs spécifiques à l'EUR E4C sont détaillés ci-dessous.

Intitulé des indicateurs	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Nombre d'étudiants dans les formations E4C	116	165			
Fraction d'étudiants internationaux dans les formations E4C ¹	47%	52%			
Nombre de stages E4C	4	12			
Nombre de doctorants E4C en formation executive ²	0	0			
Nombre de chercheurs et enseignants internationaux invités ³	0	0			
Nombre de séminaires E4C organisés	5	11			
Nombre d'écoles thématiques organisées	0	1			
Nombre de projets européens soumis	1	2			
Nombre de contrats et chaires industriels ⁴	14	14			

LISTE DES JALONS

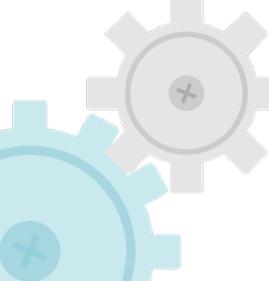
Nom/Nature du jalon	Année 5	Statut à l'année 2
Mise en place d'un site web E4C incluant l'accès à des ressources pédagogiques en ligne	Accomplie	Partiellement atteint (seul reste la mise en ligne des ressources pédagogiques mutualisées)
Mise en place d'une base de données pour la recherche et l'enseignement (E4C DataHub)	Accomplie	Accomplie, en opération
Finalisation des 3 smartgrids d'échelle 1 (bâtiment du Drahi X-Novation Center, Bachelor Hall, bâtiment SIRTA, Tahiti) pour soutenir l'enseignement (projets, stages, summer school envisagée dans l'EUR) et la recherche	En opération	bâtiment du Drahi X-Novation Center : Accompli et en opération Bachelor Hall : en cours de réalisation (finalisation et opération prévue pour fin de l'année) SIRTA : étude en cours pour réalisation en 2022 Tahiti : en attente de signature de convention avec l'Université de Polynésie Française pour entamer la réalisation
Bachelor Hall : en cours de réalisation (finalisation et opération prévue pour fin de l'année)		
SIRTA : étude en cours pour réalisation en 2022		
Tahiti : en attente de signature de convention avec l'Université de Polynésie Française pour entamer la réalisation		
Mise en place du track « energy » du master Deep-Tech	Accomplie	Accomplie
Mise en place du E4C « energy » certificate	Accomplie	Accomplie
Organisation d'une summer school annuelle Smart-Buildings to Smart-Cities	4 d'ici l'année 5 (première année blanche)	1 ^{ère} summer school réalisée en 2021, la 2 ^{ème} est en cours de préparation pour 2022
Organisation d'une conférence internationale E4C tous les 2 ans	2 d'ici l'année 5	Réalisée en 2019, en stand-by en 2021 pour raison de crise sanitaire

1 La fraction d'étudiants internationaux varie très fortement d'une formation à l'autre, entre typiquement de 10% à 97%

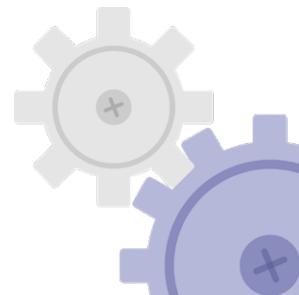
2 L'appel à projet de formation executive devrait être lancé fin 2021. La mise en place a pris du temps pour identifier le meilleur vecteur de promotion et de diffusion de l'appel à projets. Le premier appel sera lancé par l'École Doctorale d'IP Paris. La structuration de l'École Doctorale de l'École des Ponts étant plus complexe, il a été décidé de ne pas diffuser pour l'instant l'appel aux doctorants de l'École des Ponts en attendant d'identifier un meilleur vecteur.

3 La crise sanitaire a eu pour conséquence l'annulation de tous les projets d'invitations de chercheurs invités retenus à l'appel à projets d'octobre 2019 (en 2020, cet appel a exclu ce volet de l'appel à projets car les conditions d'accueil et de voyages ne pouvaient être assurées).

4 Le nombre de contrats étant conséquent, seuls les projets regroupant plusieurs laboratoires E4C et dont l'ensemble des informations étaient disponibles au moment de la soumission du rapport ont été détaillés dans le document à renseigner en ligne. Par ailleurs dans ce document, le nombre de projets pour l'année N est le nombre de projets actifs à l'année N.



**Rapport d'activité
2020-2021**





E4C

ENERGY4CLIMATE
INTERDISCIPLINARY CENTER

Le Centre interdisciplinaire Energy4Climate (E4C) lancé en juin 2019 par l’Institut Polytechnique de Paris et l’École des Ponts ParisTech s’implique dans la transition énergétique, par le biais de la recherche, de la formation et de l’innovation.

L’humanité est confrontée à un défi climatique d’une ampleur inégalée et dont l’origine humaine ne fait plus de doute. Maintenir le réchauffement climatique en dessous de la limite de 2 °C implique de développer des solutions adaptées.

Près de 30 laboratoires travaillent au sein d’E4C sur quatre thématiques transversales pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer l’efficacité énergétique, déployer les énergies renouvelables et proposer des politiques énergétiques pertinentes.

Les activités du centre sont développées par ses chercheurs en lien avec des acteurs du monde socio-économique. Elles associent les sciences sociales et économiques, les sciences des matériaux et l’ingénierie, les mathématiques appliquées, l’informatique ou encore la géophysique. Le centre développe des plateformes instrumentales, des modèles pour la prospective énergétique et la prévision ou encore un centre de données : le E4C DataHub.

Former la future génération d’acteurs de l’énergie est également une priorité pour E4C. Il propose ainsi des Masters et des PhD tracks, un parcours entrepreneurial pour les étudiants souhaitant créer une start-up ainsi qu’un challenge international étudiant.

Follow us on social media!

You have questions? Contact us

contact.e4c@ip-paris.fr

