MINES ParisTech | PSL

RAPPORT 2017 D'*activité*

Centre de Mathématiques Appliquées

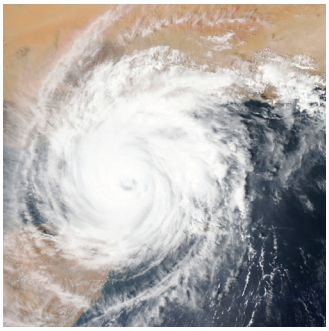
Sophia Antipolis

10

Chaire MPDD

dixième anniversaire

CHAIRE MODÉLISATION PROSPECTIVE au service du DÉVELOPPEMENT DURABLE



2008 - 2018

SOMMAIRE

la FORMATION

Cours de Modélisation Prospective [5]
Cycle Ingénieur Civil

MIG «Systèmes embarqués» [6]

Semaines ATHENS, l'enseignement du «langage de programmation C++» [7]

Intégration dans le tissu académique local [7]
Formation doctorale

Mastère spécialisé en Optimisation des Systèmes Énergétiques (OSE) [8]

la RECHERCHE

Prospective et changement climatique [12]

Les enjeux des Smart Cities [20]

Paramétrisation des systèmes [24]

Recrutement d'un nouvel enseignant-chercheur [25]

Soutenances de HDR [26]

Réseaux électriques intelligents [28]

CHAIRE

Modélisation prospective au service du développement durable

Développement des outils de modélisation prospective [32]

Développement d'un outil d'archivage centralisé pour les modèles [33]
Markal/TIMES : plateforme MCOPM

La plateforme de la modélisation prospective [33]

Les principales conférences de la chaire en 2017 [35]

Les événements de la chaire en 2017 [35]

Autre événement notable [38]

la FORMATION

Le CMA intervient dans le cycle Ingénieur civil avec le cours de « Modélisation Prospective : principes et usages des modèles mathématiques pour l'évaluation des politiques de lutte contre le changement climatique », organise le MIG « Systèmes embarqués », participe aux semaines Athens à travers l'enseignement du « langage de programmation C++ ». Il contribue à l'intégration de l'Ecole dans le tissu académique local sophipolitain en étant responsable de la formation doctorale « Contrôle, Optimisation et Prospective » de PSL/MINES ParisTech co-accréditée avec l'Ecole Doctorale STIC de l'UNS. Il participe aux enseignements du Master EEET-M2 (CEA) /EEET-MP (Ecole des Ponts) et de masters de l'UNS et est co-responsable d'un module de troisième année du cycle Ingénieurs Civils des Mines de Nancy.

Le CMA est responsable du mastère spécialisé en « Optimisation des Systèmes Energétiques » (OSE) [mastere-ose.fr] dont il assure une partie majeure des enseignements en particulier dans le module optimisation et prospective.

I / Cours de Modélisation Prospective Cycle Ingénieur Civil

II / MIG «Systèmes embarqués»

III / Semaines ATHENS, l'enseignement du «langage de programmation C++»

IV / Intégration dans le tissu académique local Formation doctorale

V / Mastère spécialisé Optimisation des Systèmes Énergétiques (OSE)

I / Cours de Modélisation Prospective Cycle Ingénieur Civil

Principes et usages des modèles mathématiques pour l'évaluation des politiques de lutte contre le changement climatique

Au-delà du cycle ingénieur civil, Nadia MAÏZI dispense également cet enseignement à l'Ecole des Mines de Nancy, au Master EEET (Economie de l'environnement, de l'énergie et des transports) dans les parcours Energie et Modélisation prospective, et, bien entendu, dans le cadre du mastère spécialisé en Optimisation des Systèmes Energétiques porté par le CMA.

Responsable : Nadia MAÏZI

Sous l'aiguillon de la question climatique et de la globalisation économique, la modélisation prospective, tradition - un temps oubliée - liant prospective numérique, calcul économique, économie publique et réflexion stratégique, est aujourd'hui largement réinvestie dans le cadre des négociations internationales autour du dossier climatique.

Objectifs de l'enseignement

L'objectif de cet enseignement est de présenter les outils de modélisation prospective, nés dans les années 1960, du dialogue entre mathématiciens et économistes, et reposant sur un concept d'optimalité. Il revient d'une part sur l'histoire de la contribution des modèles de prospective à long terme face au questionnement climatique. D'autre part, il décrypte l'apport des mathématiques dans le cadre de la modélisation prospective en déclinant les modèles dans leurs croisements disciplinaires : mathématiques et économie. A travers des cas concrets, il illustre la raison pour laquelle ces outils mettant en jeu des compétences en mathématiques appliquées et en sciences économiques sont devenus le support incontournable et essentiel de la réflexion prospective pour l'évaluation des politiques de lutte contre le changement climatique. Au-delà, cet enseignement a pour vocation :

- d'aborder les modèles mathématiques sous un autre angle en illustrant le rôle de la modélisation mathématique et de l'optimisation pour des questions a priori sans mathématiques ;
- de préparer aux débats sur le changement climatique en donnant un éclairage sur des outils de modélisation disponibles ;
- de se confronter aux difficultés de la modélisation dans un cadre dynamique complexe, celui du changement climatique, où le facteur humain est central.

II / MIG «Systèmes embarqués»

Un MIG (Module des Ingénieurs Généralistes) est un enseignement original de MINES ParisTech à l'attention des élèves de première année du cycle des ingénieurs civils. Ces modules, proposés et encadrés par des centres de recherche de MINES ParisTech, se déroulent sur trois semaines consécutives en automne et se terminent par un oral dispensé par les élèves devant un jury à la fin du mois de janvier après un important travail de préparation.

Responsable : Valérie ROY

Les MIGs visent à faire découvrir à un groupe de 12 élèves un domaine scientifique dans sa complexité et sa diversité à travers des visites industrielles, des cours et des conférences ainsi que la réalisation par les élèves d'un projet ambitieux en taille réelle et, pour le MIG que nous encadrons, en auto-organisation. Il sensibilise ainsi les élèves à la pluridisciplinarité des domaines rencontrés dans les projets industriels. Le CMA pour la seizième année consécutive, a organisé un MIG sur les méthodes de conception et de validation des systèmes embarqués.

Pour la partie sur la validation des systèmes embarqués, les élèves ont visité de grandes entreprises comme Dassault-Aviation à Istres, Airbus Helicopters à Marignane, la rame IRIS de la SNCF (train de surveillance en temps-réel des voies) et assisté à des présentations de spécialistes sur les techniques mathématiques de vérification de programmes comme l'analyse statique par interprétation abstraite à l'ENS ou la preuve de programme à l'INRIA.

Depuis quelques années, on observe une augmentation des risques liés aux feux de forêt à travers le monde, tant en fréquence qu'en intensité : en France, entre 2012 et 2016, 5000 ha ont brûlé en moyenne chaque année.

Avec le changement climatique, le risque d'incendie de forêt s'aggrave et pourrait toucher des régions jusqu'alors épargnées. Il devient donc nécessaire de développer des moyens de surveillance plus efficaces et fiables, qui puissent être opérationnels à tout moment et qui permettent d'accéder à des zones difficiles d'accès.

Pour faire découvrir les méthodes alternatives d'apprentissage de la programmation, un petit challenge de code a été organisé, pour les 12 élèves du MIG, par l'école 42 avec la participation d'élèves de l'école 42.

Enfin, un projet logiciel ambitieux a été proposé aux élèves, cette année, sur le sujet de la détection des feux de forêt, en collaboration avec la startup Xsun et l'entente pour la forêt méditerranéenne Entente-Valabre, qui est un établissement public.

Le but du projet du MIG « Systèmes embarqués » a donc été de concevoir un système de détection automatique de départs de feux de forêts (flammes et fumées) sur des images, prises par un drone ; le système a pour vocation à être embarqué comme mission dans un drone. Ce projet a nécessité la mise en œuvre de techniques de parcours d'image et de « deep learning » (avec couches de convolutions), notons que ces techniques ont été rapidement présentées aux élèves. Le parcours d'image a permis aux élèves d'extraire de celles-ci les zones contenant potentiellement de la fumée ou du feu. Le deep-learning, une méthode de machine-learning fondée sur les réseaux de neurones multi-couches, a permis « d'apprendre par l'exemple » au système logiciel à détecter les images comportant du feux ou de la fumée. Les élèves ont aussi réfléchi à la viabilité et aux perspectives d'un tel système de détection autonome des feux, tant d'un point de vue économique que de celui de l'acceptabilité sociale et des problématiques de développement durable, un des aspects transverses demandé cette année à tous les MIG.

Le jury a apprécié la présentation orale, et salué la qualité et la quantité du travail effectué par les élèves par un A. De même la startup Xsun a félicité les élèves des idées innovantes qu'ils ont su apporter et de la qualité de leurs développements qui se sont concrétisés par un logiciel de reconnaissance fonctionnel et dont les résultats sont très satisfaisants.

III / Semaines ATHENS, l'enseignement du «langage de programmation C++»

Responsable : Valérie ROY

Ce cours optionnel des semaines Athens (Course code MP01) qui existe depuis 2004, s'est déroulé en mars 2017, sur le site parisien de MINES ParisTech et a accueilli une trentaine de participants.

Objectifs du cours

C++ est devenu le langage industriel normalisé incontournable. En effet, il combine les grandes qualités des langages de haut niveau orientées objet, à la puissance des langages proches de la machine.

Comme toutes les applications comportent des contraintes de temps d'exécution et d'espace mémoire, il permet l'implémentation des logiciels qui nécessitent une manipulation directe des cibles matérielles (systèmes d'exploitation, drivers de périphériques, réseaux, etc.) tout en apportant l'expressivité, la réutilisation, la maintenance, la simplicité d'évolution, la facilité de test, l'aisance de gestion de gros projets, le passage à l'échelle, la stabilité des codes écrits. Langage généraliste à large spectre, intensivement utilisé dans de nombreux domaines, il est un des langages de référence des logiciels libres sous licence LGPL. C++ est un des principaux langages utilisés dans le monde industriel et dont la connaissance est indispensable à tout futur ingénieur désireux de s'impliquer dans les nombreux domaines connexes aux technologies de l'information et de la communication.

IV / Formation doctorale

Intégration dans le tissu académique local

Responsable : Valérie ROY

Le CMA est responsable de la formation doctorale « Contrôle, Optimisation et Prospective » créée en 2004 pour adosser les thèmes de recherche du laboratoire.

Cette formation est l'une des quatre spécialités de l'Ecole Doctorale 84 STIC dans laquelle PSL/MINES ParisTech et l'Université de Nice Sophia Antipolis (UNS) sont co-accréditées.

Le CMA inscrit dans cette spécialité ses propres doctorants ainsi que certains doctorants de l'INRIA.

La formation doctorale comptait fin 2017, 10 étudiants.

Derniers arrivants :
Mathieu Denoux, Carlos Andrade, Gildas Siggini, Paul Javal

V/ Mastère Spécialisé® en Optimisation des Systèmes Energétiques, OSE

Responsable : Gilles GUERASSIMOFF

Le mastère spécialisé OSE est une formation de 12 mois proposée aux ingénieurs ainsi qu'aux scientifiques disposant d'un diplôme de master (Bac+5), désirant se spécialiser dans le monde de l'énergie à travers une approche originale basée sur l'optimisation.

L'enseignement se déroule à Sophia Antipolis et à Nice du 1er octobre de l'année N au 31 mars de l'année N+1. Il se fait sous forme de cours, conférences et projets autour de méthodes d'optimisation et d'aide à la décision. Les systèmes énergétiques sont abordés de façon globale donnant aux étudiants les clés pour rechercher des solutions durables répondant à des contraintes de plus en plus fortes : changement climatique, épuisement des ressources, contraintes politiques et financières, etc.

Les élèves effectuent ensuite une mission professionnelle de 6 mois, du 1er avril au 30 septembre, chez un partenaire industriel.

Les partenaires académiques du mastère

Le CMA, qui organise le mastère spécialisé, s'est associé au Centre de Recherche en Economie et Droit de l'Energie de la Faculté de Sciences Economiques de l'Université de Montpellier I (CREDEN) pour la partie économique et à l'Ecole Des Hautes Etudes Commerciales du Nord (EDHEC) pour la partie management de projet. La combinaison de ces trois cultures complémentaires permet d'aboutir à une compréhension complète des différents paradigmes du monde de l'énergie.

Une formation dont la pédagogie est principalement basée sur les projets

La pédagogie de cette formation pluridisciplinaire mêlant aspects techniques, économiques, juridiques, environnementaux et de management est basée sur de nombreux projets qui se déclinent autour d'un thème fédérateur.

Nos élèves vont ainsi, autour de ce thème, rédiger une synthèse qui peut donner lieu à publication aux presses des Mines.

Ils présentent leurs travaux lors du voyage d'études auprès d'un public d'universitaires et d'institutionnels. Ce voyage est l'occasion d'appréhender la problématique énergétique dans un contexte international.

Ils vont aussi organiser un « événement » de type colloque ou conférence en fin de cursus. Cet événement réunit des personnalités référentes dans la thématique fédératrice pour une journée d'échanges scientifiques.

Enfin, les élèves conçoivent chaque mois une revue de presse, l'Inf'ose, dans le domaine de l'énergie consultable sur : http://eleves-ose.cma.mines-paristech.fr/

Les débouchés à l'issue de cette formation sont nombreux et variés : ingénieur de recherche ou d'étude, chargé d'affaires, acheteur d'énergie, analyste de marchés ou risques.

VI/ Les faits marquants du Mastère spécialisé® OSE

16 Février 2017
Deux étudiants du mastère spécialisé OSE lauréats du concours CNF CIGRE sur les réseaux électriques intelligents

Geoffrey Orlando et Quentin Souvestre, deux étudiants du Mastère ont remporté la 3ème édition du concours étudiant sur les réseaux électriques intelligents organisé par le Comité National Français du Conseil international des grands réseaux électriques (CNF CIGRE). Les participants devaient rédiger un article de 15 000 signes sur le thème «les nouvelles technologies, quels impacts sur la conception et la gestion d'un système électrique». La finale de ce concours s'est déroulée le 16 février 2017 à Paris dans les locaux de RTE à La Défense en présence de nombreux industriels, partenaires de l'événement : RTE, EDF, General Electric, Gimélec, Siemens et Supergrid Institute. Geoffrey et Quentin ont ainsi reçu le premier prix, d'une valeur de 2000 €, pour leur article intitulé «Le Vehicle to Grid, une solution pour réduire l'impact de la mobilité décarbonée sur le système électrique» et succèdent ainsi à Mohamed Amhal et Cédric Anglade également élèves du mastère OSE lauréats du concours 2016.

Mars 2017, la promotion 2016/2017 en voyage d'études aux USA

Au terme des six mois de formation au Centre de mathématiques Appliquées, la promotion du mastère spécialisé OSE effectue un voyage d'études. C'est l'occasion pour les étudiants d'être confrontés à une vision différente des systèmes énergétiques . Les étudiants de la promotion 2016/2017 ont ainsi pu sillonner du 4 au 13 mars 2017 la Californie dans le cadre du voyage placé sous la thématique de la valorisation énergétique des déchets.

Ils ont débuté le voyage par une journée sur le campus de Berkeley. Ils ont été accueillis au Berkeley Energy and Climate Institute où ils ont effectué deux présentations qui portaient l'une sur un sujet proposé par la Start-up Elum traitant de l'exploitation optimale d'un parc de batteries, l'autre sur le thème de la revalorisation énergétique des déchets. Ils ont ensuite effectué durant leur séjour plusieurs visites sur différents sites : université de Stanford, All Power Labs, Altamont Landfill & Resource Recovery Facility, EDF Inc., EDF Renewable Energy, Puente Hills Landfill Gas-to-Energy Facility, Primus Power, San Francisco Public Utilities Commission, Scavenger Company, SMUD, et enfin Total.

Ce voyage co-organisé par Ankinée Kirakozian et Gilles Guerassimoff a été très instructif pour les élèves de la promotion 2016/2017.

http://ose.cma.mines-paristech.fr/sites/ose.cma.mines-paristech.fr/files/files/p2016_Voyage_OSE_Californie.pdf

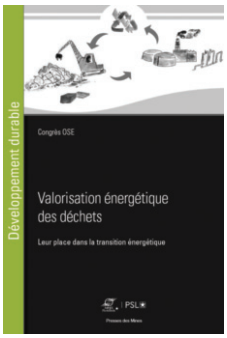
Fin septembre 2017, Semaine de rentrée des OSE

Le 25 septembre a été marqué par la rentrée de la nouvelle promotion OSE (promo 2017) qui compte cette année 18 élèves, suivie les mardi 26 et mercredi 27 septembre par les soutenances de la promotion sortante.

Les promotions 2016 et 2017

28 septembre 2017, organisation du congrès OSE

Le jeudi 28 septembre 2017 a eu lieu le 17e événement OSE co-organisé par les élèves de la promotion 2016 du Mastère OSE et la Chaire MPDD. Ce congrès qui s'est déroulé dans les locaux de MINES ParisTech à Sophia avait pour thématique la transition énergétique via la valorisation énergétique des déchets. Après l'introduction de Marc Daunis vice-président de la CASA, les élèves sont intervenus pour présenter leurs travaux sur les déchets, les politiques adoptées en la matière, les méthodes de valorisation, l'avenir et les enjeux de la filière. Deux tables rondes ont été organisées l'après-midi, la première a réuni autour du sujet « Déchets et territoires, comment atteindre les objectifs de valorisation énergétique des déchets : quelles ressources, quelles valorisations, quelles problématiques d'intégration ? » des représentants de Véolia, d'Air Liquide, de Pizzorno Environnement, d'Akajoule et de GERES. La seconde qui portait sur « L'apport des réseaux à la valorisation énergétique des déchets » a donné la parole à des représentants de GRDF, GRTgaz et Mini-GreenPower



Retrouvez l'intégralité des échanges dans les actes du colloque publiés aux Presses des Mines

Décembre 2017

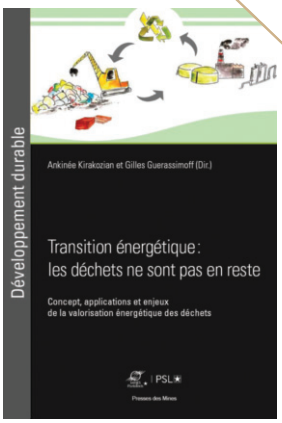
Les élèves de l'Ecole des Mines de Nancy ont partagé durant 3 jours, les cours d'un module commun sur "l'analyse comparée des filières énergétiques"et les travaux dirigés de modélisation conduits par Sandrine SELOSSE et Edi ASSOUMOU, dans le cadre de la formation du mastère spécialisé OSE. Au programme l'optimisation prospective pour le long terme.

MINESnancy
ARTEM

Début 2018, publication du livre de la promotion 2016/2017

Cet ouvrage permet de découvrir les différentes méthodes de transformation de déchets en énergie, et fait le point sur l'usage de ces procédés dans le monde avec le répertoire du volume de production et d'élimination des déchets (par type). L'accent est mis sur les impacts environnementaux et économiques des différentes méthodes de production d'électricité. On retrouve ainsi les technologies traditionnelles (incinération, méthanisation) dites directes, mais également des méthodes plus récentes et plus expérimentales (pyrogazéification, valorisation énergétique du CO_2 via les micro-algues). Au-delà du focus sur ces méthodes directes, sont présentées des méthodes permettant une valorisation énergétique des déchets indirecte (élaboration d'isolants, recyclage du combustible nucléaire).

L'ouvrage propose une analyse des contributions individuelles des consommateurs à la valorisation énergétique, et des principes et pratiques de l'écologie industrielle permettant la valorisation énergétique dans l'industrie. En conclusion, différentes critiques faites à l'égard de la valorisation énergétique des déchets (notamment pour ce qui concerne l'incinération et la méthanisation) sont exposées, ouvrant vers de nouveaux champs de réflexion.



la RECHERCHE

Le CMA développe une démarche scientifique originale en déclinant ses compétences fondamentales en modélisation, mathématiques du contrôle, de la décision et des sciences de données afin d'aborder des systèmes de plus en plus complexes. Cette association de disciplines fondamentales permet d'envisager ces systèmes en une déclinaison de thèmes qui reflètent de grands défis industriels et de grandes questions de société. C'est ainsi que nos projets de recherche portent notamment sur : les enjeux liés au climat (technologies, carbone, énergie, eau, raréfaction des matériaux), la gestion optimale de systèmes complexes (micro-grids, réseaux de distribution d'eau, de gaz et d'électricité), les marchés de l'électricité et du carbone, le déploiement des systèmes électriques intégrant des technologies liées aux énergies renouvelables et aux réseaux intelligents.

I / Prospective et changement climatique
II / Les enjeux des smart cities
III / Paramétrisation des systèmes
IV / Un nouveau chercheur
V / Soutenances de HDR
VI / Réseaux électriques intelligents

I/ Prospective et changement climatique

En s'appuyant sur l'ensemble de ses compétences en modélisation, optimisation, mathématiques du contrôle et de la décision et des sciences de données, le CMA a développé une expertise pour l'aide à la décision dans le domaine de l'énergie. Son approche prospective est fondée sur des modèles d'optimisation de la famille MARKAL/TIMES développés dans le cadre du programme de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie) où le CMA représente la France.

Eclairer des politiques publiques

Aide à la décision au niveau ministériel

Responsables : Nadia MAÏZI
Edi ASSOUMOU

La contribution au débat sur l'orientation des politiques publiques a été initiée dans le cadre de la Commission Energie du Centre d'Analyse Stratégique afin d'évaluer des scénarios bas en carbone à l'horizon 2050. Elle a ensuite été déployée pour les travaux de la commission Energie 2050, commandée par le ministre de l'Energie, en vue d'établir la stratégie énergétique française à l'horizon 2050. A cette fin, le CMA, s'inscrivant dans les travaux de sa Chaire MPDD (cf. infra), a travaillé conjointement avec la DG Trésor à l'élaboration de scénarios modélisés par son modèle TIMES-France. Ils traduisent les hypothèses de déploiement ou de sortie du nucléaire telles qu'édictées par le Ministre Besson en 2011. L'objet de cet exercice, de type académique, était d'aider aux réflexions de la Commission. Ces analyses et conclusions ont été publiées en 2012 dans le rapport final dans une annexe spécifique et ont fait l'objet de plusieurs interventions du CMA dans le cadre du débat sur la transition énergétique et d'une publication dans la revue Applied Energy, "Future prospects for nuclear power in France", Vol 136, 31 décembre 2014, pages 849 à 859. Par ailleurs, en 2015, Nadia MAÏZI a été nommée par la Ministre de l'Environnement de l'Energie et de la Mer, membre du comité d'experts pour la transition énergétique en France. Ce comité a été constitué pour rendre un avis notamment sur les projets de budget carbone et de stratégie bas-carbone, le respect des budgets carbone déjà fixés, les projets de programmation pluriannuelle de l'énergie de la métropole de ses régions et des zones non interconnectées.

Dans ce cadre, la thèse d'Ariane MILLOT a été initiée début 2016 au CMA en collaboration avec la DGEC afin d'explorer l'impact des politiques publiques sur les enjeux de décarbonation à une échelle nationale et évaluer la question de la transition énergétique. Cette thèse explore les conditions permettant d'infléchir au niveau national les tendances à la hausse des émissions de gaz à effet de serre selon différentes perspectives : sous l'angle des politiques publiques et de leur déclinaison mais également en envisageant l'impact des solutions initiées à d'autres niveaux par la société civile (entreprises, associations, citoyens). En parallèle, le travail de recherche devrait permettre d'évaluer les conditions objectives de la transition, en exploitant des analogies dérivées d'autres contextes (transition de phase pour les sciences physiques et sociales), à partir des enseignements d'autres pays européens (Suède et Allemagne) et d'une approche retro-prospective (de 1970 à aujourd'hui) élaborée à l'échelle de la France.

Cette déclinaison du modèle France a permis une contribution aux travaux de la Commission Quinet lancée en septembre 2017 et dont l'objet est de réévaluer une valeur carbone pour la France.

Aide à la décision dans le résidentiel tertiaire

Axe DataScience (du court terme au long terme)

Responsables : Valérie ROY
Gilles GUERASSIMOFF
Sandrine SELOSSE

Dans la continuité des projets GridTeams, SmartEnCo ou E3D-Environnent ainsi que les travaux menés avec la société HomePulse (Ex WattGo), nous développons des algorithmes permettant une amélioration du pilotage énergétique, notamment des bâtiments tant dans le secteur de résidentiel que du tertiaire.

Notre approche repose sur deux grands axes complémentaires. D'une part le croisement de l'étude des courbes de charge et de l'exploitation de questionnaires permettant le recueil de données pertinentes sur l'état et le taux d'équipement des bâtiments concernés. D'autre part, l'exploration de techniques incitatives (nudges ou coups de pouces) ayant vocation à intégrer les aspects comportementaux au sein de nouvelles lois de commandes prédictives.

Ces deux axes reposent sur la mise en œuvre de techniques de datamining appliquées à des données massives. Les séries temporelles et les questionnaires recèlent de nombreuses informations agrégées que des techniques d'apprentissage machine (machine learning) permettent d'exploiter. Par ailleurs, l'explosion du déploiement des objets connectés (IoT : Internet of Things) ouvre l'accessibilité à un champ de données complémentaires que nous proposons d'intégrer dans notre approche.

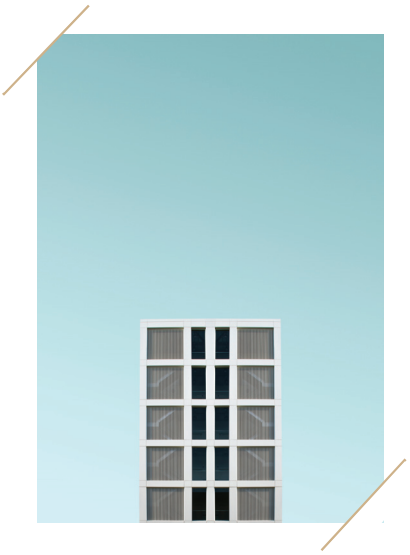
Les premiers résultats dans le secteur résidentiel à partir des données du panel Powermetrix montrent le grand potentiel des data sciences. L'intégration des nudges que nous avons pu tester au sein de l'expérimentation menée en région PACA à travers le projet MUFFINS (cf. infra) mené avec l'Université Côte D'Azur (UCA) dans le secteur tertiaire nous conforte dans la poursuite de ces activités. En effet, MUFFINS montre que certains nudges proposés aux employés ont eu une influence significative sur leur comportement vis-à-vis de leur consommation d'énergie au travail.

Un autre objectif de l'étude des données issues de capteurs est aussi, à terme, de proposer des scénarios plus pertinents au sein de nos modèles de prospective long terme. L'intégration du comportement dans le choix du pilotage des bâtiments ou celle de l'influence des variations climatiques sur les courbes de charge des bâtiments (Projet Clim2power, cf. infra) sont autant d'améliorations qui viendront renforcer la pertinence de nos modèles d'aide à la décision.

Analyse du cycle de vie du système énergétique

Le Projet ACVs énergies

Responsable : Edi ASSOUMOU



Le secteur du bâtiment représente à lui seul près de la moitié de la consommation totale d'énergie en France, et les deux tiers de la consommation d'électricité. L'ensemble des scénarios de la transition énergétique place la rénovation du parc parmi les leviers d'action prioritaires. Or, dans une analyse du cycle de vie «classique» des coefficients fixes sont utilisés pour évaluer l'impact de la consommation électrique pendant toute la durée du projet alors même que le système électrique va évoluer. Pour pallier cette problématique différente méthodes d'ACV seront proposées.

Les options, applicables à une production d'électricité ou de chauffage urbain, seront notamment l'ACV attributionnelle ou conséquentielle, l'ACV statique ou dynamique, les impacts globaux ou différenciés par usage, les impacts basés sur des données historiques, des modèles ou des scénarios prospectifs, la prise en compte d'une production locale exportée vers le réseau. Dans ce contexte, le projet a pour objet de développer une méthodologie permettant d'intégrer ces développements dans les outils utilisés en pratique par les maîtres d'ouvrages. Plus spécifiquement, le CMA devra faire une évaluation prospective de l'ACV des systèmes électriques et gaziers dans le cadre de la future réglementation thermique à destination des maîtres d'ouvrage. Ce projet financé par l'ADEME a débuté en décembre 2017 et s'achèvera fin 2020. Les partenaires du projet sont : Armines/Centre Efficacité énergétique des Systèmes de MPT ; École des ingénieurs de la ville de Paris ; Armines/Centre de Mathématiques Appliquées de MPT ; IZUBA Energies.

Enjeux internationaux

Filières bioénergies

Responsables : Nadia MAÏZI
Sandrine SELOSSE

Initiée en 2014 dans le cadre du programme de recherche en modélisation prospective du CMA, la thèse intitulée «La place de la bioénergie dans un monde sobre en carbone : Analyse prospective et développement de la filière biomasse dans le modèle TIAM-FR» menée par Seungwoo KANG sous la responsabilité de Sandrine SELOSSE, se place dans le contexte du développement croissant de l'usage des bioénergies pour faire face à la menace du changement climatique et des enjeux de décarbonation des systèmes énergétiques associés. Le principal objectif de cette thèse est ainsi de disposer d'un outil capable d'évaluer de manière fiable et pertinente le rôle de ces ressources aux différentes étapes de la filière biomasse. TIAM-FR (TIMES Integrated Assessment Model) constitue un de ces outils pour lequel le potentiel de déploiement des bioénergies au niveau global mais aussi régional a été évalué en tenant compte notamment des surfaces agricoles, des niveaux de productivité et de conflits d'usages des sols. L'implémentation des échanges internationaux de biomasse et des technologies de pré-traitement dans le modèle constituent ainsi des éléments clés de ce travail de thèse qui a enregistré en 2017 une troisième publication dans une revue à comité de lecture, l'International Journal of Oil, Gas and Coal Technology. Le partenariat noué avec l'équipe du World Energy Outlook (WEO) de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) en 2015, s'est poursuivi cette année encore sur l'analyse de l'évolution de la biomasse dans les pays développés à travers l'étude des équipements finaux des ménages qui consomment de la bioénergie selon les types de foyers. Les résultats de l'analyse menée par Seungwoo KANG ont été publiés dans un encadré du WEO 2017.

SOUTENANCE DE LA THESE DE SEUGWOO KANG LE 22 DECEMBRE 2017

Face à une préoccupation environnementale croissante, les pays du monde accentuent leurs efforts pour réduire leur dépendance aux ressources fossiles, sources majeures d'émissions de gaz à effet de serre, en les remplaçant par des énergies propres, dont la bioénergie. Dans le contexte induit par l'Accord de Paris et les objectifs d'atténuation du changement climatique, la bioénergie connait une attention croissante dans le monde comme moyen de décarbonation de notre société. Ce travail de thèse se concentre sur les perspectives de développement de la bioénergie en s'attachant à analyser l'évolution de la production de bioénergie au regard des politiques d'incitation, des échanges de ressources biomasses et leur utilisation soutenable à long terme dans un contexte de décarbonations des sociétés. Dans ce contexte d'analyse, ce travail porte également sur une meilleure implémentation de la bioénergie dans notre modèle d'optimisation du système énergétique mondial, TIAM-FR. Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présente le positionnement actuel de la bioénergie, les stratégies mises en œuvre pour son développement et la manière dont cela s'intègre dans notre approche de modélisation. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du développement apporté à la filière de bioénergie dans le modèle TIAM-FR. Le troisième chapitre montre notre travail par rapport à l'évaluation du potentiel de la biomasse. Enfin, le dernier chapitre analyse le rôle futur de la bioénergie dans un contexte de lutte contre le réchauffement climatique, à l'échelle mondiale et par un focus réalisé sur quatre pays asiatiques, la Chine, l'Inde, le Japon et la Corée du Sud.

Tensions sur les matériaux

Responsables : Nadia MAÏZI
Antoine BOUBAULT

Des travaux ont été menés en 2016 et 2017 par Antoine BOUBAULT pour quantifier les ressources matérielles pour une production électrique bas-carbone à l'horizon 2100.

En réponse au changement climatique, la décarbonation des moyens de production est vue comme une opportunité de concilier la réduction des impacts environnementaux et la croissance économique. Pourtant, construire un monde zéro-carbone à l'horizon 2100 nécessitera de grandes quantités d'énergie et de matériaux. Le modèle TIAM-FR (TIMES Integrated Assessment Model, version développée par le CMA) est utilisé dans ce projet pour générer des scénarios de consommation de matériaux, suivant que l'on se trouve sur une trajectoire type « business-as-usual » (BAU) ou « Accord de Paris » à partir de l'exploitation d'une base de données pour l'Analyse du Cycle de Vie. Cette approche originale permet de combiner des informations sur les besoins en matières premières, et de démontrer que le système énergétique fait appel à ces ressources de façon bien supérieure dans le scenario « Accord de Paris » : en particulier, dans ce cas de nombreuses matières premières deviennent potentiellement critiques pour le secteur électrique, pour lequel le solaire photovoltaïque, l'éolien, l'hydraulique, la géothermie et le nucléaire sont associés à des technologies qui demandent énormément de matériaux, notamment pour leurs infrastructures. Alors que la plupart des modèles de prospective énergétique ignorent l'influence des matières premières, cette analyse montre que les systèmes énergétiques qui en sont issus peuvent conduire à des scénarisations du système énergétique irréalistes. Une modélisation prospective en accord avec les principes de l'écologie industrielle pourrait en revanche conduire à une analyse plus fidèle des politiques visant à maîtriser la consommation des matières premières. Certaines difficultés restent cependant à lever telles qu'une faible disponibilité des données sur les flux et stocks de matériaux, ainsi que l'absence d'un cadre rigoureux pour comparer les inventaires de cycle de vie des technologies. Ces travaux ont été présentés dans le cadre de la Conférence : "Mineral Prospectivity – current approaches and future innovations" organisée par le BRGM et ont fait l'objet d'un article paru en 2018 «Closing the TIMES integrated assessment model (TIAM-FR) raw materials gap with life-cycle inventories» dans le Journal of Industrial Ecology.

Changement climatique et systèmes électriques

Projet Clim2power

Responsable : Edi ASSOUMOU

Clim2Power est un projet de recherche visant à développer un service climatique accessible en ligne capable d'intégrer des prévisions météorologiques saisonnières dans différentes prises de décision au sein du secteur électrique de l'Union européenne. En particulier, ce projet cherche à valoriser l'importance des prévisions météorologiques saisonnières afin d'améliorer la gestion de la production électrique. Les producteurs d'électricité et sociétés commerciales, les opérateurs et régulateurs du système électrique, les consommateurs d'énergie et les gestionnaires de l'eau pourront ainsi bénéficier des résultats de ce projet de recherche.

Ce projet européen qui relève de l'espace européen de recherche sur les services climatologiques, dénommé ERA4CS, a débuté en septembre 2017 pour une durée de 3 ans. Dans le cadre de ce projet le CMA est plus particulièrement chargé de coordonner le développement du modèle du système électrique européen.

Une thèse a également été initiée sur le sujet, fin 2017. Menée par Gildas SIGGINI sous la direction d'Edi ASSOUMOU, elle a pour objectif d'investiguer, dans le cadre d'une démarche d'optimisation prospective à forte résolution temporelle, les possibles évolutions du mix européen sous contrainte de variabilité climatique dans différents scénarios. Elle donnera ainsi des éléments de réflexion sur la pertinence des choix de la transition énergétique.

Les partenaires de ce projet sont l'université de Lisbonne, Portugal ; EDP-Electricité du Portugal ; le service météorologique, Allemagne ; l'université des Ressources Naturelles et des Sciences Humaines, Autriche ; Energie de Vienne, Autriche ; ARMINES/Centre de Mathématiques Appliquées de MINES ParisTech, France ; la société ACTeon, France ; le centre Observation, Impacts, Energie de MINES ParisTech, France ; l'université de Cork, Irlande ; l'université technologique de Luléa, Suède.

Eclairer des choix technologiques

Smart grids et énergies renouvelables

Responsable du projet : Nadia MAÏZI
en collaboration
avec Vincent MAZAURIC

En partenariat avec SCHNEIDER ELECTRIC, des travaux prolongent les réalisations obtenues pour ce qui concerne l'intégration de la spatialité pour évaluer les enjeux liés au déploiement du réseau électrique dans une vision prospective de long terme appuyée sur les modèles de la famille TIMES. Les premiers travaux liés à cette intégration du réseau ont consisté à rendre compatible l'évaluation de la fiabilité des systèmes électriques avec la dynamique temporelle associée aux exercices de prospective long terme. La fiabilité de fourniture évalue la capacité d'un système électrique à se prémunir d'incidents d'exploitation et est caractérisée par le plan de tension et la fréquence, dont les temps caractéristiques varient entre quelques millisecondes et quelques heures. Les exercices de prospective long terme qui s'intéressent à l'évolution des systèmes électriques sur plusieurs décennies, ne permettent pas d'en apprécier la fiabilité. Or, l'intégration massive d'énergies renouvelables pourrait se faire au détriment de cette fiabilité, du fait de la complexité induite par la gestion de l'intermittence. Deux indicateurs, sous hypothèse de synchronisme, permettent de quantifier de façon originale le niveau de fiabilité d'un système électrique associé au mix de production qui lui est associé. Leur développement a été initié dans le cadre de la thèse de Mathilde DROUINEAU sur la «Modélisation prospective et analyse spatio-temporelle : intégration de la dynamique du réseau électrique» soutenue en décembre 2011. Leur intérêt a été démontré pour l'île de La Réunion, avec le travail de thèse de Stéphanie BOUCKAERT sur la «Contribution des Smart Grids à la transition énergétique : évaluation dans des scénarios long terme» soutenue en décembre 2013, qui s'est fixé pour objectif un mix de la production d'électricité en 2030 issu de 100 % d'énergies renouvelables, puis pour la France à l'horizon 2050. Pour traiter complètement la question de l'intégration à grande échelle de sources intermittentes renouvelables, il est également nécessaire de connaître le type de déploiement adopté pour les infrastructures de réseau, afin d'assurer la condition de synchronisme : cet arbitrage consiste à discriminer une vision classique maillée du système électrique centralisé, de sa vision décentralisée. La thèse de Vincent KRAKOWSKI initiée fin 2012 et soutenue le 6 décembre 2016 avait pour vocation d'intégrer des éléments liés à la spatialité dans les modèles TIMES afin de pouvoir compléter les approches précédentes. Gondia SECK a finalisé ce travail dans le cadre d'un post doc.

Ces travaux ont été valorisés dans une quinzaine de conférences internationales, et ont fait l'objet, fin 2011, d'un dépôt de brevet, étendu fin 2012, et d'une analyse de la fiabilité élargie au système français pour la conférence annuelle des Nations-Unies sur le climat à Durban ainsi que dans le cadre de la Commission Énergie 2050, citée précédemment.

Analyse Prospective des solutions de flexibilité multi-énergies

Responsable du projet : Edi ASSOUMOU

Il existe actuellement de nombreux nouveaux chemins technologiques pour atteindre les objectifs de décarbonation des systèmes énergétiques : biométhane, gaz de synthèse produit par du power-to-gas, hydrogène, CCS… Dans quels contextes ces filières pourraient-elles se développer pour les atteindre ? Quelles sont les perspectives de compétition/coopération de ces technologies ?

L'objectif de la thèse réalisée par Rémy DOUDARD sous la direction d'Edi ASSOUMOU est de mener une réflexion prospective sur leurs positionnements à l'horizon 2050 en France, en tenant compte des trajectoires induites et en prenant en considération les contraintes de flexibilité saisonnières/intra-journalières. Ce travail est tout d'abord réalisé au sein des systèmes gaz/électricité avec des scénarios de demande finale. Des premiers éléments de réflexion sont fournis lorsque l'on intègre la possibilité de substitutions des vecteurs (électricité, gaz, hydrogène) pour les usages de l'énergie.

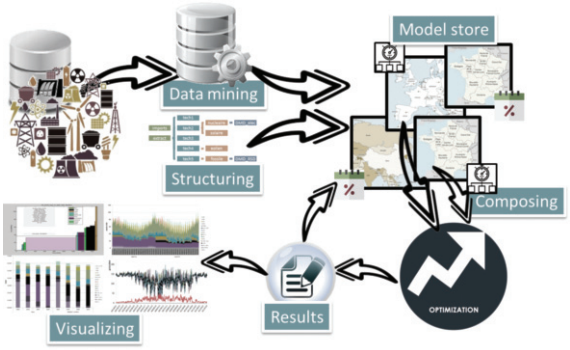
La thèse, débutée en octobre 2015, est réalisée en partenariat avec GRTgaz, partenaire depuis 2014 de la Chaire « Modélisation Prospective au service du Développement Durable ». Elle sera soutenue fin 2018.

Rémy Doudard

Interactions des systémes Energétiques dans les modèles multi échelles

Responsable du projet : Edi ASSOUMOU

Une thèse a été initiée en octobre 2014 sous la responsabilité d'Edi ASSOUMOU sur les « transitions et interactions des systèmes énergétiques dans les modèles multi échelles ». La manipulation des modèles multi échelles permet de mieux appréhender les enjeux et contraintes posés par la transition de systèmes énergétiques locaux ainsi que pour des zones plus sensibles du réseau. Aussi bien spatialement que temporellement, le comportement des systèmes, les problématiques et les enjeux diffèrent selon les échelles. Le but de ces travaux de thèse menés par Jérôme GUTIERREZ est d'identifier ces divergences afin de caractériser dans les différentes échelles, les transitions et interactions des systèmes énergétiques. Cette thèse sera soutenue en 2018.



Approfondir la compréhension des systèmes

Paradigmes comportementaux

Responsables : Nadia MAÏZI et Edi ASSOUMOU

Travaux sur la décroissance

François BRIENS a soutenu fin 2015 une thèse sous la direction de Nadia MAÏZI, sur la modélisation prospective et l'étude macroéconomique de scénarios sociétaux de Décroissance. Face aux enjeux socioéconomiques, démocratiques et environnementaux, l'hégémonie de la croissance économique comme fin en soi ou comme condition nécessaire au « développement » semble de nouveau remise en cause. Depuis le début des années 2000, suscitant un intérêt croissant et de vifs échanges, les idées de la « Décroissance » ont acquis une certaine notoriété. Les acteurs qui les portent proposent des pistes pour une transition vers des sociétés «d'abondance frugale». Au travers d'un exercice de prospective alliant scénarisation participative et modélisation numérique, F. BRIENS a proposé d'apporter un éclairage à ce débat.

Après avoir resitué la décroissance dans un contexte historique et explicité les concepts sous-jacents, il a, à partir d'une série d'entretiens, élaboré des scénarios de décroissance pour la France. Il a présenté une approche innovante et originale en développant un modèle entrées-sorties dédié permettant d'explorer sur le long terme les implications possibles, en termes d'emploi, de finances publiques, de consommation d'énergie, d'émissions de polluants atmosphériques et de production de déchet, de ces différents scénarios.

Exploration des modes de vie

Thomas LE GALLIC a débuté des travaux de recherche en décembre 2013 sur l'exploration des évolutions des modes de vie dans les exercices de prospective énergie-climat, sous la direction de Nadia MAÏZI et Edi ASSOUMOU. Il s'agissait de proposer un développement méthodologique en vue d'appréhender la réalité socioéconomique d'hypothèses de rupture associées au mode de vie. Ceci a permis d'enrichir les représentations des mutations socioéconomiques, souvent pauvres dans les exercices de prospective classiques, et d'exploiter des hypothèses de transition rarement explorées, faute d'outils ou de méthodes adaptés. Les modes de vie décrivent des comportements qui sont des déterminants essentiels de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (relatifs, par exemple, aux modes de consommation, aux rapports au temps et à l'espace, aux types de loisirs, aux habitudes de mobilité ou encore aux modalités de cohabitation).

Ces travaux ont fait l'objet d'une publication en 2017 : Thomas LE GALLIC, Edi ASSOUMOU, Nadia MAÏZI. Future demand for energy services through a quantitative approach of lifestyles. Energy, Elsevier, 2017.

Cette thèse réalisée en partenariat avec ACTeon, bureau de conseil et recherche en politique de l'Environnement a été soutenue le 21 décembre 2017.

Le mode de vie des pays industrialisés, basé sur le consumérisme, est considéré comme l'un des principaux moteurs de l'usage de ressources et de la dégradation de l'environnement global. Sa substitution par d'autres modes de vie constitue l'une des clés pour bâtir un futur soutenable, d'autant qu'il tend à être imité dans les pays émergents et en développement. Pourtant, la question de la transition des modes de vie a été jusqu'à présent relativement peu investie par les politiques publiques, y compris par celles qui visent à répondre aux enjeux de la transition énergétique et de l'atténuation du changement climatique. C'est dans le but d'encourager les parties prenantes de ces enjeux à se saisir de cette question que nos recherches ont été initiées. Pour cela, nous avons choisi de nous concentrer sur la démarche prospective, qui est l'un des outils d'aide à la décision privilégiés pour éclairer les politiques de l'énergie et du changement climatique dont les enjeux portent sur les moyen et long termes. Nous avons constaté que la question était jusqu'à présent très partiellement abordée dans la plupart des exercices de prospective énergie climat. Ce constat tient en partie au fait que, alors que la pratique actuelle accorde une place importante à la modélisation, le formalisme des modèles utilisés n'a bien souvent pas été pensé pour traiter de cette notion multidimensionnelle. Dans ce contexte, notre contribution porte sur les plans conceptuel et méthodologique. Nous avons dans un premier temps défini un cadre conceptuel pour aborder la notion de mode de vie et clarifier son rôle dans le système énergétique. Dans un second temps, nous avons proposé une approche par la modélisation destinée à simuler des scénarios d'évolution des modes de vie à l'échelle de la France. Cette approche formelle, dont le développement a constitué le cœur de nos recherches, permet de quantifier la demande en logements, la demande en mobilité et la demande en biens et services qui résultent de ces scénarios et définissent la structure des usages de l'énergie. La mise en œuvre de cette approche est illustrée dans ce manuscrit par la simulation de trois scénarios d'évolution des modes de vie.

SOUTENANCE DE LA THESE THOMAS LE GALLIC LE 21 DECEMBRE 2017

Modélisation de la consommation énergétique

Le CMA prolonge ses réflexions sur la question de la précarité des ménages face aux options de réduction des émissions de CO_2 dans les décennies à venir. Ces travaux ont été initiés par Jean-Michel CAYLA qui a intégré le comportement des ménages dans l'approche de long terme, dans le cadre de sa thèse, soutenue le 3 mars 2011, et intitulée «Les ménages sous la contrainte carbone. Exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES». Sous la direction de Nadia MAÏZI, J-M. CAYLA a développé un modèle bottom-up d'optimisation de type TIMES portant sur les secteurs résidentiel et transport : TIMES-households, et intégrant une représentation très désagrégée des ménages permettant d'apporter une plus grande robustesse que l'approche classique basée sur la représentation d'un ménage moyen. Cette réalisation s'est appuyée sur l'exploitation d'une enquête originale, élaborée par J-M.CAYLA et menée auprès de 2000 ménages, croisant pour la première fois les comportements de consommation énergétique dans les usages résidentiels et de transport. Ces travaux ont permis de rendre compte des contraintes subies par les ménages et de leurs arbitrages en matière d'énergie, entre coût et confort. L'efficacité de l'instauration d'une taxe carbone, pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et son association avec des subventions ciblées permettent de limiter l'impact distorsif sur le budget des ménages. Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications. Dans le prolongement de ce travail, Elena STOLYAROVA a effectué une thèse intitulée "Modélisation de la consommation énergétique des ménages et stratégies d'investissement", sous la responsabilité de Nadia MAÏZI en collaboration avec EDF R&D. Le but de ce travail a été de développer des modèles statistiques permettant de comprendre le comportement des ménages face à la gestion de l'énergie, et en particulier leurs stratégies d'investissement en matière de technologies de chauffage (électrique, au bois, au gaz, etc.). Cette thèse a été soutenue le 7 avril 2016 à MINES ParisTech.

II/ Les enjeux des Smart cities

Les compétences du CMA en informatique temps réel, optimisation des systèmes énergétiques et prospective long terme lui permettent d'appréhender les défis soulevés par les réseaux intelligents. Le centre est ainsi impliqué dans plusieurs projets d'envergure relatifs à ce thème. Le CMA est notamment impliqué dans plusieurs projets liés à la ville et au transport durables, l'optimisation de la réponse à la demande dans les réseaux de distribution d'eau et dans les centres de données, le dimensionnement optimal d'une micro-grid en tenant compte des incertitudes.

Projet ANR SUD

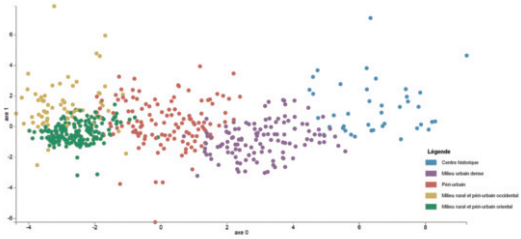
Responsables :
Nadia MAÏZI
Edi ASSOUMOU

Le CMA participe depuis fin 2013 au projet ANR intitulé "Systèmes Urbains Dynamiques" dans le cadre du programme Villes et Bâtiments Durables. Les consommations d'énergie des villes dépendent d'une part de la croissance numérique du nombre d'habitants, et d'autre part du foisonnement des besoins urbains (notamment ceux résultant de la mobilité et de l'habitat). L'objectif du projet SUD est d'en évaluer la dynamique structurelle de long terme sur un horizon pluriannuel tout en conservant une approche fine du caractère horo-saisonniers des besoins et son effet sur les contraintes opérationnelles des systèmes urbains. Pour ce faire, trois principaux flux énergétiques à l'échelle urbaine sont considérés : les flux d'énergie thermique, les flux d'énergie électriques, et les flux de passagers en voitures particulières pour des motifs de déplacement quotidiens. La plateforme SUD envisagée permettra alors la simulation de différents dispositifs techniques (PV, véhicule électrique, stockage) ou tarifaires à l'échelle urbaine. Le projet est porté par le CITERES qui en assure la coordination, le LET, l'IFSTTAR, ENERGIES DEMAIN, ARMINES, INNHOTEP, ENIA et le LEMA pour une durée de 48 mois. Il s'agit notamment pour le CMA d'intégrer à l'approche SUD une méthodologie d'estimation de courbes de charge électrique horosaisonnière par usage. Ce projet s'achèvera à la fin du premier semestre 2018.

Contribution de la modélisation prospective aux enjeux associant urbanisme et Energie

Responsable : Nadia MAÏZI

Les urbanistes en France, de par leur formation, ont une approche du territoire qui s'appuie assez peu sur les données disponibles par manque de temps et de compétences sur ces domaines au sein des agences. Fort de ce constat des travaux de recherche ont été initiés en octobre 2017 au CMA en collaboration avec l'agence d'urbanisme Nicolas Michelin & Associés dans le cadre d'une thèse intitulée «Enjeux de l'évaluation des scénarios de transformation de la ville qui répondent à la fois aux enjeux énergie/climat et à des enjeux sociaux culturels». Menée par Matthieu DENOUX sous la direction de Nadia MAÏZI, cette thèse a pour objectif de fournir les moyens d'évaluer l'impact de différentes façons de transformer la ville par l'étude de scénarios quantitatifs et qualitatifs. En utilisant des techniques de modélisation prospective, le projet cherche à construire un modèle d'optimisation pour comparer, d'un point de vue énergétique et environnemental d'abord mais également social et économique, plusieurs approches proposées par les urbanistes sur un territoire. Dans un premier temps, nous avons cherché à tirer des conclusions de l'abondante littérature scientifique autour de la modélisation urbaine et à déterminer les thématiques et questions intéressant les urbanistes et les modélisateurs avant de commencer la construction d'un modèle prospectif sur un territoire choisi.



Ensemble des IRIS de Bordeaux métropole regroupés par similarité statistique en cinq « zones »

Enjeux Eau/Energie

Optimisation des réseaux d'eau

Responsable : Sophie DEMASSEY

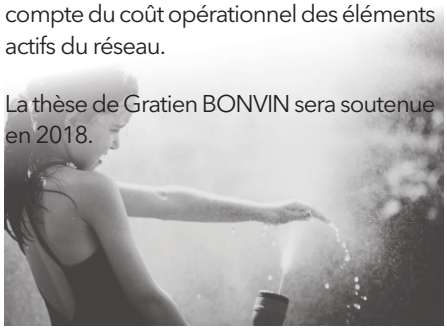
L'optimisation des réseaux d'eau est un domaine de recherche florissant qui accompagne naturellement plusieurs facteurs concomitants : l'accroissement de la consommation en eau qui engendre la création de nouveaux réseaux, la dégradation graduelle des installations qui nécessite leur renouvellement, la rationalisation des coûts d'installation et de consommation énergétique qui se traduit par la chasse aux fuites, l'automatisation et une utilisation plus efficace des pompes hydrauliques, enfin la mutation de la fourniture électrique, avec l'intégration des énergies intermittentes et la variabilité des prix, qui motive une gestion finement chronométrée du pompage.

La programmation mathématique est une approche d'optimisation privilégiée dans ce domaine. Deux problématiques, à des classes décisionnelles et des échelles temporelles différentes, dominent dans la littérature : au niveau stratégique, le dimensionnement des réseaux gravitaires, et au niveau opérationnel, la planification du fonctionnement des stations de pompage. Du fait de leur complexité algorithmique, les deux problèmes sont étudiés séparément. Ils sont pourtant intrinsèquement liés en pratique : l'adduction d'eau potable est moins souvent gravitaire que par refoulement et la programmation quotidienne d'une station de pompage est tributaire de son dimensionnement.

La thèse de Gratien BONVIN débutée en décembre 2014 sous la direction de Sophie DEMASSEY vise à développer une approche intégrée de l'optimisation de réseaux de distribution d'eau du court au long-terme, depuis la conduite en temps réel du réseau jusqu'à sa conception. Concernant la complexe optimisation dynamique du pilotage, des modèles de programmation non-linéaire originaux et des méthodes de résolution performantes associées ont été proposées. Une première approche de programmation convexe à contraintes quadratiques appliquée au cas des réseaux branchés a été expérimentée sur une grande station de pompage rurale française. Comparée à la conduite manuelle pratiquée actuellement, elle tient compte des prévisions de demande pour la journée et permet des économies énergétiques et financières substantielles (en moyenne 15% de la facture électrique) ainsi qu'une baisse de la pression dans le réseau et donc de fuites au niveau des canalisations. L'approche a été étendue à des réseaux de distribution quelconques : la perte de la non-convexité est alors compensée par une relaxation plus forte et une approche générique de résolution mixte de programmation linéaire et non-linéaire, qui apparaît, au vu d'une analyse empirique extensive, plus performante que des méthodes spécifiques. Enfin, nous avons conçu une heuristique de résolution considérablement plus rapide encore, basée sur une nouvelle formulation linéaire en variables continues, résultant du pré-calcul de la dynamique des flux dans le réseau pour chaque configuration possible des pompes.

L'efficacité de ces solutions pour le contrôle optimal nous permet maintenant d'envisager leur intégration au sein de solutions d'optimisation à moyen-terme (choix de souscription pour la fourniture électrique) et à long-terme (redimensionnement du réseau), de manière innovante : en tenant compte du coût opérationnel des éléments actifs du réseau.

La thèse de Gratien BONVIN sera soutenue en 2018.



Enjeux Eau/Energie

Projet ETSAP (ECN-CENSE)

Responsable : Sandrine SELOSSE

En 2017, s'est achevé le projet «Enhancement of ETSAP E-TechDS database with cooling technology parameters for power plants» initié en 2015 et financé par l'ETSAP (AIE). Porté par ECN (Energy research Centre of the Netherlands), le CMA a participé à ce projet en collaboration avec le CENSE (Center for Environmental and Sustainability research, Portugal).

Plus précisément, les systèmes énergétiques et les ressources en eau sont fondamentalement liés au sens où nous ne pouvons pas gérer ces deux ressources isolément, la disponibilité de l'un affectant la disponibilité de l'autre. Aussi, la disponibilité décroissante de l'eau aura inéluctablement un impact sur le secteur de l'énergie, quant à lui croissant. Selon l'OCDE, le secteur énergétique est responsable de 15 % des prélèvements globaux d'eau douce en 2010. En 2030, la demande mondiale d'eau, y compris pour l'énergie, devrait dépasser l'offre d'environ 40 %. Au moins un tiers de cette demande sera liée aux bioénergies. L'empreinte sur l'eau des différentes technologies du secteur énergétique peut donc être appelée à devenir une question de concurrence. Le secteur de l'énergie cite l'eau comme un des six thèmes clefs qui définira son avenir et elle devient un facteur de plus en plus important pour évaluer la faisabilité physique, économique et environnementale des projets énergétiques. Pour analyser le futur déploiement des technologies et les politiques du secteur énergétique, le nexus eau-énergie constitue un sujet essentiel à traiter et les outils de modélisation doivent être envisagés pour cela. La série de fiches techniques ETSAP Energy Technology Data Source (E-TechDS / http://iea-etsap.org/index.php/energy-technology-data) renseigne sur une gamme complète de technologies de l'énergie avec une quantité de paramètres technico-économiques visant à caractériser les technologies. Cependant, l'information sur la consommation en eau des technologies demeurait absente jusqu'à présent. Ce projet a donc visé à pallier ce déficit et proposé d'enrichir les E-TechDS par différentes technologies de refroidissement des centrales électriques et leurs principales caractéristiques dans le cadre des technologies de production d'électricité.

Les résultats de ce projet ont également été présentés lors de l'ETSAP Workshop on modelling the water energynexus à Zurich, le 14 décembre 2017.

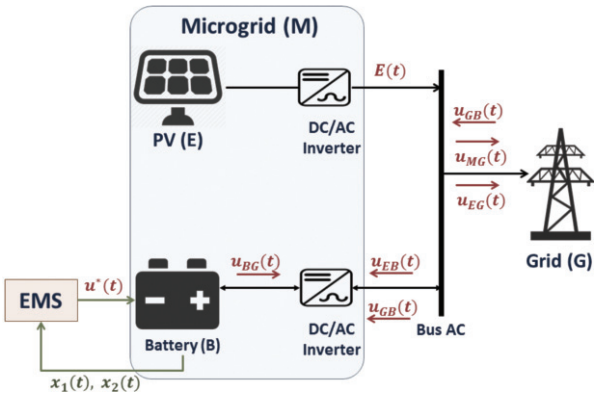
Projet M.U.F.F.I.N.S *«Mesuring nUdges' eFFicacy in reducIng eNergy conSumption»*

Responsables :
Ankinée KIRAKOZIAN,
Sandrine SELOSSE,
Gilles GUERASSIMOFF

Dans le cadre du projet MUFFINS porté par le GREDEG (Université de Nice Sophia Antipolis / CNRS) et financé par l'académie d'Excellence « Hommes, Idées et Milieux » de IDEX/Université Côte d'Azur, une expérimentation a été menée par le CMA afin de tester et comparer l'efficacité de différents types de nudges (coup de pouce) en termes de diminution de la consommation énergétique des salariés en entreprise. Ce projet se place dans un contexte où la réduction de la consommation énergétique constitue un enjeu important tant du point de vue financier qu'environnemental avec la question de la raréfaction des ressources, le réchauffement climatique et la pollution. Des politiques publiques ont été développées dans ce champ (taxes, normes de consommation énergétique, subventions, marchés de certificats vert, etc.) mais dans le champ de l'économie comportementale, une attention particulière a été donnée à l'utilisation, souvent complémentaire, de politique dite de nudge. Un nudge ('coup de pouce') est une forme de politique publique qui vise à modifier les comportements individuels sans passer par une incitation financière (taxe), ou une obligation (norme), mais en fournissant une information aux individus leur permettant d'avoir le comportement voulu par les décideurs. L'objectif du projet de recherche MUFFINS s'inscrit dans cette perspective d'économie comportementale et consiste en une expérimentation de terrain – field experiment - où l'effet des nudges appliqués à la consommation énergétique des salariés est analysé. L'originalité de ce travail est double. Premièrement, le public visé est inhabituel au sens où les seules études existantes visent les ménages à domicile. Cette expérimentation s'intéresse quant à elle aux salariés sur leur lieu de travail qui sont donc dans une situation où la facture énergétique ne leur incombe pas. Deuxièmement, alors que la plupart des études se focalisent sur un type de nudge par expérimentation, cette expérimentation en teste trois. L'expérimentation a été conduite auprès d'entreprises françaises et les données collectées ont ensuite fait l'objet de traitements statistiques et économétriques permettant de déterminer l'efficacité des différents nudges sur la maîtrise de l'énergie.

Pilotage d'un système de production d'électricité hybride

Responsable du projet pour le CMA : Sophie DEMASSEY



Un système hybride associe différentes sources renouvelables (solaire, éolien) et s'appuie, pour pallier l'intermittence de celles-ci, sur des technologies de stockage et sur l'achat d'électricité issue de sources non-renouvelables (réseau électrique ou générateur diesel). Il s'engage alors à pourvoir, au réseau principal de distribution ou à un micro-réseau local, un profil journalier de production d'électricité en tenant compte des prévisions climatiques. Avec l'essor de tels systèmes, sont apparues diverses solutions logicielles, souvent développées au cas par cas, offrant de piloter en temps réel les opérations d'achat et de stockage pour en limiter les coûts tout en obéissant au mieux au profil d'engagement. La thèse d'Arnold N'Goran, débutée en février 2017 en collaboration avec Bertin Technologies dans le cadre d'un contrat CIFRE, ambitionne de concevoir et de mettre en oeuvre une solution à la fois performante (en termes d'optimalité des solutions et de réduction des temps de réponse), générique (ou du moins flexible et évolutive) et intégrant les incertitudes sur les données prévisionnelles dans une approche d'optimisation robuste.

Dimensionnement optimal et robuste d'une micro-grid

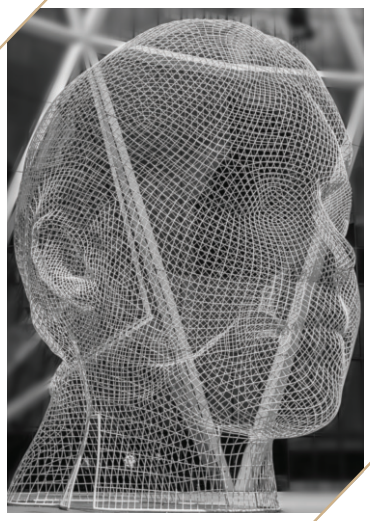
Responsable : Sophie DEMASSEY

Comment dimensionner un parc électrique, incluant différentes sources et éléments de stockage d'énergie, de manière à minimiser les coûts d'investissement et d'opération sur la durée de vie du parc, et étant données les incertitudes sur l'évolution de la demande et de la production des sources intermittentes sur ce même horizon ? Deux étudiants du mastère OSE ont été impliqués pour traiter ce problème complexe. Aurélien HAVEL a mis en place une solution générique d'optimisation robuste, basée sur la relaxation lagrangienne d'un programme linéaire en nombres entiers, intégrée dans un service web complet incluant la spécification des instances en amont et la visualisation des solutions calculées en aval. Dimitra IGNATIADIS, en 2017, a apporté des améliorations, à la fois sur la complexité calculatoire et sur la finesse de modélisation, notamment en implémentant un modèle multi-période de planification des investissements en lieu et place du modèle annualisé de dimensionnement.

III/ Paramétrisation des systèmes
Problèmes inverses, applications en médecine et géophysique

Responsable : Jean-Paul MARMORAT

Le CMA aborde, en collaboration avec les projets FACTAS et ATHENA de l'INRIA, une classe de problèmes inverses concernant la détection de sources mono ou dipolaires. Les données sont constituées par des mesures ponctuelles d'un potentiel, effectuées à la frontière d'un certain domaine 3D. Les inconnues sont les positions et moments de sources internes au domaine qui génèrent ce potentiel. En dehors de ces sources et à l'intérieur du domaine, le potentiel vérifie une équation de Laplace. Dans les applications biomédicales le domaine est la boite crânienne, le potentiel est électrique ou magnétique, les sources sont des foyers épileptiques, les mesures sont alors des électro ou magnéto-encéphalogrammes. Dans les applications géophysiques, le domaine est le globe, le potentiel est gravitationnel, les sources des inhomogénéités de matière, on mesure alors les fluctuations du potentiel par rapport au potentiel de référence. Ce problème mal posé est traité par des méthodes d'approximation rationnelle 2D dans divers plans de coupe. Les lignes de singularités des approximants permettent de remonter aux positions de sources. Ces méthodes sont testées sur des données simulées ou réelles. Un logiciel APP a été déposé : FindSources3D http://www-sop.inria.fr/apics/Find-Sources3D/fr/index.html. Une collaboration est en cours avec l'Université d'Aix-Marseille et le Centre Hospitalier de LA TIMONE (Marseille). Le projet a fait l'objet d'une présentation dans un colloque en 2017 « Maureen Clerc, Juliette Leblond, Jean-Paul Marmorat, Christos Papageorgakis. Inverse conductivity recovery problem in a spherical geometry from EEG data: uniqueness, reconstruction and stability results. TAMTAM 2017 - 8ème colloque, Tendances dans les Applications Mathématiques en Tunisie Algérie Maroc, May 2017, Hammamet, Tunisia. pp.1, (http://tamtam2017.enit-lr.tn/registration.html). (hal-01526931) »



IV/ En 2017, le CMA accueille un nouvel enseignant-chercheur : Welington de Oliveira

Welington De Oliveira est un mathématicien brésilien spécialiste dans les domaines de l'optimisation stochastique, l'optimisation non différentiable et ses applications aux problèmes de planification de systèmes énergétiques. Il a été affecté au CMA le 1er août 2017.

Jusqu'alors, il était enseignant-chercheur dans le département de mathématiques à l'Université d'État de Rio de Janeiro (UERJ). Il a également occupé les postes de post-doc d'Excellence à l'institut de mathématiques pures et appliquées (IMPA), et de chercheur au centre de recherche en énergie électrique (CEPEL-ELETROBRAS) à Rio de Janeiro.

Au CMA, ses travaux de recherche portent sur l'optimisation stochastique, et non différentiable, il participe également aux enseignements du Mastère spécialisé OSE et aux projets de recherche partenariaux de Centre. Avec l'enseignante-chercheuse Sophie DEMASSEY, il a obtenu fin 2017 une thèse CIFRE EDF dont l'objectif est d'intégrer les incertitudes dans les outils et fonctions du processus de gestion prévisionnelle court-terme du réseau de distribution d'électricité. La maîtrise des incertitudes est une étape indispensable pour garantir l'optimisation du système électrique en gestion prévisionnelle. La prise en compte des incertitudes doit, en effet, permettre de mieux anticiper la présence de contraintes, d'optimiser la prise de décision pour la levée de celles-ci tout en assurant la maîtrise des coûts d'appel aux leviers.

Concernant la diffusion de ses travaux de recherches, Welington a publié en décembre 2017, un article scientifique dans une revue spécialisée en recherche opérationnelle «Target radius methods for nonsmooth convex optimization», Operations Research Letters, Elsevier, 2017. En octobre 2017, il a été membre du comité scientifique du 13th International Seminar on Optimization and Related Areas, au Pérou (http://isora2017.imca.edu.pe). En novembre, dans le cadre du programme Gaspard-Monge pour l'optimisation et la recherche opérationnelle, Welington a présenté aux journées PGMO à Paris ses travaux sur l'analyse variationnelle appliquée aux problèmes de distribution économique d'électricité.

Avec le soutien du CMA, Welington poursuivra en 2018 ses travaux de recherche et d'enseignement et il initiera le processus pour l'obtention d'une habilitation à diriger des recherches.

V/ Quatre chercheurs du CMA ont soutenu leur HDR entre le 29 mai et le 30 juin 2017

Gilles GUERASSIMOFF a soutenu auprès de l'Ecole doctorale STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) de l'Université de Nice Sophia Antipolis sa HDR intitulée «Systèmes énergétiques : contrôle, modélisation et prospective» le lundi 29 mai.

Son mémoire d'habilitation à diriger des recherches porte sur les systèmes énergétiques et les recherches qu'il a menées depuis près de 20 ans afin de mieux les représenter, les améliorer voire les optimiser. Après un rappel du parcours de l'auteur, une première partie est dédiée à la prospective des systèmes énergétiques. À travers deux domaines d'application, les énergies renouvelables et l'industrie, il est montré comment modéliser puis optimiser un secteur pour qu'il réponde à l'évolution de la demande en énergie tout en minimisant le coût global actualisé du système considéré. La deuxième partie est consacrée à l'évolution des techniques de modélisation et de contrôle des systèmes énergétique avec l'avènement des moyens de mesure de plus en plus nombreux. L'application aux bâtiments résidentiels et tertiaires illustre la mise en œuvre de méthodes de data science maintenant applicables au secteur grâce à la disponibilité en masse de données d'évolution des variables pertinente agissant sur le comportement énergétique des systèmes considérés.

Edi ASSOUMOU a soutenu auprès de l'Ecole doctorale STIC de l'UNSA sa HDR intitulée « La modélisation comme démarche d'investigation du long terme des systèmes énergétiques» le jeudi 22 juin 2017.

Les activités de recherche décrites dans ce mémoire envisagent la modélisation numérique comme composante d'une démarche d'exploration de systèmes complexes et sur des horizons de long terme pour lesquels aucune expérience directe n'est possible. Pour les systèmes énergétiques ce sont des supports indispensables pour penser les conditions des transitions anticipées par les différents objectifs de politiques énergétiques. Devant la complexité des questions posées et l'évolution des connaissances produites par différentes disciplines une attitude d'ouverture et de remise en cause continue des modèles est inévitable. In fine, les modèles sont des objets conceptuels au service de l'interdisciplinarité.

Ce mémoire qui revient plus spécifiquement sur les activités de recherche de l'auteur est divisé en deux parties. La première décrit son parcours académique. La seconde propose une synthèse de ses travaux de recherche et quelques perspectives.

Sandrine SELOSSE a soutenu auprès de l'Ecole doctorale d'Economie et Gestion de l'Université de Montpellier sa HDR intitulée «Analyse prospective des politiques climatiques internationales : les émissions négatives et les pays en développement au secours du climat», le vendredi 2 juin 2017.

Son manuscrit porte sur les activités de recherche que l'auteur a menées depuis 2008 sur la modélisation prospective des systèmes énergétiques et l'analyse de scénarios de long terme. Elle participe dans ce cadre aux projets de modélisation prospective du CMA et travaille plus précisément au déploiement de modèles de prospective long terme dans le cadre du programme ETSAP (Energy Technology System Analysis Program) de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) et de la Chaire Modélisation prospective au service du développement durable (MPDD). Elle développe plus précisément le modèle d'optimisation technico-économique TIAM-FR (version française de TIAM/TIMES Integrated Assessment Model) et contribue au développement de ETSAP-TIAM (version officielle de l'ETSAP). Ses travaux portent sur l'analyse prospective des enjeux mondiaux Energie-Climat et plus précisément, sur l'impact global et régional sur les systèmes énergétiques des politiques climatiques prises dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et de la Conférence des Parties. Dans cette optique, elle implémente différents scénarios exprimant les engagements climatiques internationaux et en discute, d'une part les enjeux, en considérant notamment la contribution des pays en développement à l'effort d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, et d'autre part les défis technologiques permettant d'assurer une transition bas carbone, comme les technologies de capture et séquestration du carbone.

Sophie DEMASSEY a soutenu auprès de l'Ecole doctorale STIC de l'UNSA sa HDR intitulée « Compositions et hybridations pour l'optimisation combinatoire appliquée» le vendredi 30 juin 2017.

La complexité croissante des problèmes d'optimisation combinatoire auxquels sont confrontés les décideurs dans tous les domaines, de la logistique à l'énergie et l'environnement en passant par la santé ou le bâtiment, est accompagnée du développement de solutions toujours plus sophistiquées. Dans le processus, la flexibilité de la solution, sa généricité ou sa facilité d'adaptation face à une sensible modification du problème, est souvent négligée en faveur de la seule performance. Il est question dans cette thèse de l'intérêt des approches déclaratives, basées sur une modélisation abstraite du problème et sa résolution par des algorithmes modulaires génériques, dans le traitement à la fois flexible et performant des problèmes d'optimisation composites difficiles. L'étude s'articule autour de l'hybridation de techniques complémentaires de programmation par contraintes (contraintes globales), de programmation mathématique (relaxations et décompositions), des graphes ou des automates, au sein d'outils d'aide à la modélisation, de composition automatique de modèles, et de résolution optimale. Elle est illustrée par des contributions à la résolution de problèmes industriels tels que la gestion des ressources dans les centres de données ou la planification de personnel.

VI/ Réseaux électriques intelligents

Dans ce cadre, le gouvernement a lancé en 2013, les travaux du plan intitulé Réseaux Electriques Intelligents de la Nouvelle France Industrielle (REI), piloté par Dominique Maillard Président du directoire de RTE. Nadia MAÏZI, Professeur à l'Ecole des Mines de Paris, y représentait les Instituts Carnot et assurait la correspondance du MESR. Les travaux menés dans le cadre de ce plan ont abouti à une feuille de route déclinée en 10 actions ayant vocation à consolider les filières électriques et informatiques françaises sur de nouveaux marchés à forte croissance et créateurs d'emplois. Parmi les dix actions, Nadia MAÏZI était responsable de deux actions :- d'une part l'action 3, visant à créer une académie des Réseaux électriques intelligents afin de construire une nouvelle offre de formation dédiée aux réseaux intelligents pour développer la filière en France et à l'étranger. Les travaux réalisés dans le cadre de cette action ont donné lieu à l'établissement d'une première cartographie par discipline des formations REI répertoriées sur internet, et à des réflexions et travaux sur l'établissement d'une classification des formations autour du label REI avec notamment la réalisation d'un formulaire. - d'autre part l'action 9 visant à définir la stratégie recherche et développement pour le déploiement de la filière réseaux électriques intelligents française. Les différents travaux menés dans ce cadre ont conduit à un certain nombre de recommandations pour la R&D.

> Dans un contexte de forte évolution des modes de consommation et de production d'électricité, il convient de construire la France des réseaux électriques intelligents. L'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les réseaux électriques doit, en effet, permettre de gérer de façon optimisée la consommation et la production d'électricité afin de mieux appréhender la gestion globale de l'électricité sur le territoire.

En avril 2015, le plan s'est transformé en Association Think Smartgrids à laquelle MINES ParisTech a adhéré. L'association est présidée depuis sa création par M. MONLOUBOU, Président du directoire d'ENEDIS, qui a cédé sa place en avril 2018 à Olivier GRABETTE membre du Directoire de RTE – Directeur Général Adjoint en charge du pôle Prospective.

Pour plus d'information, voir le site de l'association, http://www.thinksmartgrids.fr/.

Nadia MAÏZI a été nommée membre du conseil d'administration et Présidente de la commission formation. La commission formation, avec la contribution active du CMA, a ainsi réalisé une application web afin de recenser et cartographier les formations en lien avec les réseaux électriques intelligents dispensées par les organismes et entreprises en France. Ce recensement a pour but d'une part d'identifier les lacunes du panel de formation en matière de REI, les besoins des industriels étant en parallèle évalués, et d'autre part de constituer une aide à la décision pour les étudiants désireux de se former en REI et pour les entreprises.

Les travaux de la commission ont consisté à répertorier avec les partenaires industriels les besoins des entreprises en matière de compétences.

En 2017, la labellisation des formations répondant aux critères de formation et de compétences élaborés dans le cadre de la commission a été mise en place.

Plusieurs formations ont été inscrites au registre des formations accréditées par l'association :

5 juillet 2017 : Master Transition énergétique et territoires (Mention Énergie), École Nationale des Ponts et Chaussées (en partenariat avec l'IFP-School), M2.

10 mai 2017 : Mastère Spécialisé en Optimisation des Systèmes Energétiques, MINES ParisTech, (Bac +6).

10 mai 2017 : Master en ingénierie électrique pour les Smart Grids et Smart Buildings, Grenoble INP, M2.

Par ailleurs, l'Association Think Smartgrids a lancé un appel à propositions sur les réseaux électriques intelligents avec pour objectif d'offrir sur ce thème un espace d'échange au sein de l'Association afin de créer une communauté rapprochant industriels/PME/TPE/start-up et chercheurs académiques.

Pour initier ce processus de rapprochement, a été organisé un après-midi de rencontres le 7 décembre 2017, qui avait pour vocation de valoriser les propositions de recherche soumises afin qu'elles bénéficient, sur sélection, d'un fonds d'amorçage.

Plus de 110 personnes ont participé à cet événement qui s'est déroulé dans les locaux de MINES ParisTech, 60 Boulevard Saint Michel, Paris.

C'est Philippe Monloubou, Président de l'association Think Smartgrids, qui a ouvert l'événement.

Il a déclaré en discours d'introduction que : « la 1ère journée Innovation Académiques/Industriels de l'association a pour but de développer des synergies entre le monde académique et industriels sur le thème des smart grids ». Il a également souligné que : « cette manifestation est dans la continuité des rencontres PME/Grands Groupes, organisée en novembre dernier par Think Smartgrids, et de la journée Invest in smart grids, qui consiste à rassembler fonds d'investissement et PME/start ups».

Nadia Maïzi, présidente de la commission formation a ensuite expliquer le processus de sélection concernant les 9 propositions reçues.

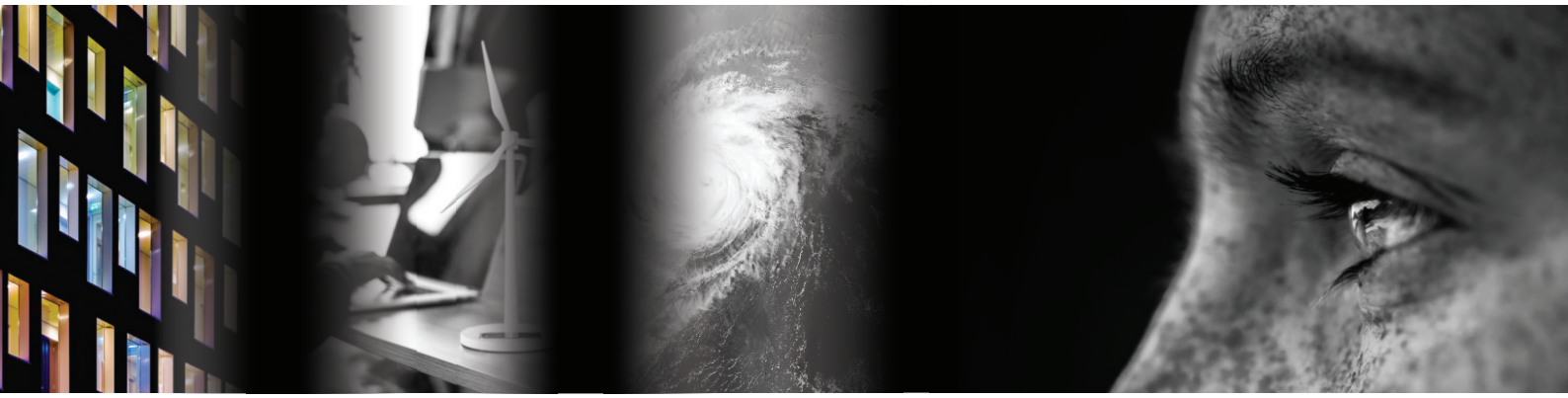
M. JODET de la CGI a ensuite évoqué le programme d'investissement d'avenir, suivi par M. ABECASSIS de l'Ademe qui a parlé des futurs appels à projet Smart Grids du PIA opérés par l'Ademe. Pierre MALLET d'ENEDIS a également présenté la feuille de route de l'association.

Pour conclure cette journée, une session de Posters a été organisée, qui a permis aux chercheurs et industriels de poser leurs questions et choisir le projet auquel ils souhaitent se joindre.

CHAIRE MPDD

Modélisation Prospective au service du Développement Durable

Co-dirigée par Nadia MAÏZI, Directrice du Centre de Mathématiques Appliquées de MINES ParisTech et Jean-Charles HOURCADE, Directeur de Recherche au Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, la Chaire a été dotée durant la période 2008-2013 d'un budget de 2,5 millions d'euros. La Chaire a été renouvelée en 2014 pour la période 2014-2018, toujours sous la co-direction de Nadia MAÏZI et Jean-Charles HOURCADE, avec pour partenaires : l'ADEME, EDF, GRTgaz, SCHNEIDER ELECTRIC et le Ministère de la Transition écologique et solidaire (comme partenaire associé).



Les objectifs de la Chaire

L'objectif de la Chaire Modélisation prospective au service du développement durable est de constituer une force vive visant à faciliter la prise de décision dans les débats touchant aux enjeux scientifiques et technologiques liés à la double contrainte énergie-climat. Répondant aux contraintes énergétiques, environnementales et économiques auxquelles les industriels et les décideurs publics sont confrontés dans leurs choix stratégiques, le projet de la Chaire Modélisation prospective au service du développement durable s'articule autour des enjeux suivants : Assurer une présence renforcée des laboratoires fondateurs et de leurs partenaires dans les lieux importants de l'expertise nationale et internationale du développement durable autour du dossier énergie-climat, prolongeant leur implication actuelle au sein du Centre d'Analyse Stratégique (pour la France – grâce au soutien initial du Conseil Français de l'Energie -), de l'AIE (World Energy Outlook, Energy Technology System Analysis Program), de l'OCDE, de la Banque Mondiale et du Groupe International d'Experts pour l'Étude du Climat. Faire émerger une plateforme de prospective pérenne pour l'aide à la décision aux interfaces économie-ressources-climat, sur les questions de politiques énergétiques et climatiques, de développement industriel et de choix technologiques dans un contexte d'évolution des règles de la concurrence. Cette plateforme intègrera progressivement les liens entre le dossier énergie/climat et les autres enjeux clefs de la problématique du développement durable. Assurer un rayonnement académique international, par l'animation de colloques internationaux, des publications dans des revues disciplinaires (en économie, gestion et mathématiques appliquées), et l'organisation de numéros spéciaux de revues spécialisées (énergie, environnement, transports, eau) sur les thématiques du développement durable. Réaliser la mise en place de programmes de financement de thèse et de séminaires de formation répondant aux besoins des entreprises partenaires dans le domaine de la prospective (sensibilisation à l'intérêt d'une approche prospective dans la conduite de leurs activités, approfondissement et transfert de compétences dans le domaine). Pallier le déficit national d'une formation «à et par» la démarche prospective.

I/ Développement des outils de modélisation prospective

TIMES

Responsable : Edi ASSOUMOU

Les modèles de planification long terme issus de la famille des modèles MARKAL/TIMES (MARKet ALlocation/ The Integrated Markal Efom System) sont au centre des activités de modélisation de la Chaire. Cette démarche repose sur l'optimisation d'une représentation technico-économique du système énergétique. Le corpus méthodologique sur lequel elle s'appuie est développé au sein de l'ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program), programme de coopération internationale sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Energie, AIE. Les périmètres géographiques de déploiement de cette approche au CMA sont la France, l'Europe et le Monde. Le CMA a particulièrement investi dans le développement du modèle France, unique, pour lequel des développements et améliorations sont permanents depuis 2003.

D'abord focalisé sur la question électrique, le modèle a évolué successivement vers une représentation d'ensemble du système énergétique, puis vers un raffinement de certains sous-secteurs ou modules. Ces évolutions continues concernent notamment la biomasse, le secteur électrique, les secteurs résidentiels et des transports et la révision des bases de données technologiques. Le modèle TIMES-France permet d'évaluer pour la France les implications de différents scénarios énergétiques : le facteur 4, la valeur du carbone, la sortie du nucléaire notamment. Des approfondissements sont actuellement menés sur la flexibilité dans les systèmes multi-énergies, les effets de la transformation du système de production et les modes de vie.

Les travaux de thèse de Remy DOUDARD et Ariane MILLOT vont permettre une mise à jour et un recalibrage du modèle ainsi qu'un approfondissement des filières gazières alternatives.

TIAM-FR

Responsable : Sandrine SELOSSE

Le CMA développe également le modèle TIAM-FR (Times Integrated Assessment Model) qui est la version française du modèle monde TIAM, de la famille des modèles ETSAP-TIMES. A l'aide de l'outil TIAM-FR, sont développés des scénarios de contraintes carbone afin de mettre en avant les impacts régionaux des enjeux mondiaux d'engagements de réductions d'émissions de CO_2 (engagements post COP15 et particulièrement maintenant ceux relatifs à la COP 21) et notamment le poids de ces contraintes carbone suivant le niveau de développement des régions. Plus précisément, il s'agit de déterminer le niveau d'ambition des engagements climatiques par rapport à l'objectif de limitation de la hausse de la température globale à 2°C et d'établir le poids de cette contrainte au niveau régional, particulièrement entre pays industrialisés, émergents à croissance rapide et en développement. Parallèlement à ces scénarios, sont développés des scénarios de déploiement de technologies, par exemple de capture et séquestration du carbone (CSC), qui permettent de discuter la plausibilité technico-économique des politiques climatiques. Ce travail a notamment fait l'objet de publications et de communications dans des conférences internationales (IEW, EURO).

II/ Développement d'un outil d'archivage centralisé pour les modèles Markal/TIMES : plateforme MCOPM

Responsable : Sébastien FOLIO

Sébastien FOLIO informaticien a poursuivi les travaux débutés en 2013 avec Evariste CHAINTREAU sur la plateforme MCOPM. Cet outil d'archivage permet la pérennisation et la réutilisation de tous les modèles d'étude mathématiques du CMA en les regroupant dans une base de données centralisée. Plus qu'une sauvegarde de données, la plateforme permet de certifier la réutilisation et la re-exploitation des données quel que soit le système utilisé pour les générer. A notamment été développé un nouvel outil d'analyse de données pour les modèles du centre, dénommé «étude de sensibilité» qui s'intègre directement dans la plateforme MCOPM. Cet outil permet de générer automatiquement un nombre important de résultats en faisant varier un paramètre du modèle. On peut ainsi étudier les effets de cette variation sur l'intégralité du modèle et ainsi mieux appréhender la réactivité et les limites de ce dernier. Des outils d'exploitation des résultats ont ensuite été développés pour pallier le problème de la quantité importante de données générées. Ils permettent d'automatiser les études et servent aux chercheurs pour présenter de façon dynamique leurs résultats qui sont diffusés sur le site de la Chaire MPDD.

III/ La Plateforme de la Modélisation Prospective

Le projet de la Plateforme de Modélisation a pour objectif de permettre les échanges et la confrontation entre équipes de modélisation, administrations et partenaires de la Chaire autour d'éclairages que la modélisation prospective peut apporter sur les politiques publiques liées à la transition énergétique en France. Pour se faire différents séminaires et ateliers sont organisés chaque année : les séminaires de la Chaire MPDD sur les Enjeux clefs pour la modélisation de la transition bas carbone déclinés en séminaires de travail et les ateliers méthodologiques.

Données, résultats obtenus et choix méthodologiques opérés y sont rendus accessibles afin d'aider à la fois à comprendre les conditions d'un bon usage des modèles dans leur état actuel de développement et à discuter, entre modélisateurs et utilisateurs, les obstacles méthodologiques à lever pour une amélioration des outils.

Deux séminaires ont été organisés en 2017 :

Séminaire 1 :

Animé par Nadia MAÏZI , il a eu lieu **le mercredi 10 mai 2017 à MINES ParisTech et portait sur les «Engagements climatiques : comment les modèles répondent aux enjeux de décarbonation ?**

- Céline GUIVARCH, CIRED, *Déterminants des liens croissance-émissions et des coûts des politiques climatiques: une analyse d'ensembles de scénarios prospectifs*

- Charlotte VAILLES, I4CE, Elaboration des politiques énergie-climat de l'UE : retour sur le paquet 2020 et perspectives pour 2030

- Sandrine SELOSSE, CMA MINES ParisTech, L'ère post-Accord de Paris des systèmes énergétiques : Analyse des défis de décarbonation avec le modèle d'optimisation bottom-up TIAM-FR

- Nadia MAÏZI, CMA MINES ParisTech, *Contrepoints*

Séminaire 2

Animé par Nadia MAÏZI, il a eu lieu le jeudi 5 octobre 2017 à MINES ParisTech et portait sur les **« Les enjeux liés à l'hybridation dans les modèles technico-économiques,**ParisTech, Paris

Introduction - Jean Charles HOURCADE (CIRED)

L'hybridation dans le modèle Three-Me et couplage avec le modèle MENFIS : Les enjeux relatifs à l'hybridation dans les modèles technico-économiques

Frédéric REYNES (OFCE)

Aurélien SAUSSAY (OFCE)

Retour d'expériences autour du couplage entre IMACLIM-TIAM-KLEM :

Sandrine SELOSSE (MINES ParisTech, CMA) : Réconciliation des modèles top down/bottom-up. Retour d'expérience sur l'approche combinée TIAM-FR/IMACLIM-R

Julien LEFEVRE (CIRED) : Couplage POLES-KLEM

Fondements et apports de l'hybridation dans le modèle IMACLIM :

Julien LEFEVRE (CIRED)

Jean Charles HOURCADE (CIRED)

Contrepoints - Sylvain CAIL (ENERDATA) : Expérience de couplage du modèle POLES

IV/ Les principales publications de la Chaire en 2017

Publications et communications scientifiques

Publications (Revue A.C.L, Ouvrages et Chapitres d'ouvrages, Working Papers)

Bonvin Gratien, Demassey Sophie, Le Pape Claude, Maïzi Nadia, Mazauric Vincent. 2017. A convex mathematical program for pump scheduling in a class of branched water networks. Applied Energy, Elsevier, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future, 185 (2), pp.1702-1711

Coatalem Martin, Mazauric Vincent, Le Pape-Gardeux Claude, Maïzi Nadia. Optimizing industries' power generation assets on the electricity markets. Applied Energy, Elsevier, 2017, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future, 185 (2), pp.1744-1756.

De Oliveira Welington, Target radius methods for nonsmooth convex optimization, Operations Research Letters, Elsevier, 2017

Didelot Alice, Maïzi Nadia, Mazauric Vincent, Assoumou Edi, Selosse Sandrine. Balancing Energy Efficiency and Fossil Fuel: The Role of Carbon Pricing. Energy Procedia, Elsevier, 2017, 105, pp.3545 - 3550.

Guerassimoff Gilles. Microgrids : pourquoi, pour qui ?. Presses des Mines, 252 p., 2017, 978-2-3567-1462-6.

Hermenier Fabien, Giuliani Giovanni, Milani Andrea, Demassey Sophie, Scaling Energy Adaptive Applications for Sustainable Profitability, Euro-Par 2017 - European Conference on Parallel Processing, Aug 2017, Santiago de Compostela, Spain. Springer, 10417, pp.23-35, 2017, Lecture Notes in Computer Science

Kang Seungwoo, Selosse Sandrine, Maïzi Nadia. Is GHG mitigation policy enough to develop bioenergy in Asia: a long-term analysis with TIAM-FR. International Journal of Oil, Gas and Coal Technology, 2017, Special Issue on: IBSCE 2015 Bioenergy and Biofuels in Asia and Europe, 14 (1/2), pp.5-31

Krakowski Vincent, Li Xiang, Mazauric Vincent, Maïzi Nadia. Power System Synchronism in Planning Exercises: From Kuramoto Lattice Model to Kinetic Energy Aggregation. Energy Procedia, Elsevier, 2017, 105, pp.2712 - 2717.

Le Gallic Thomas, Assoumou Edi, Maïzi Nadia. Future demand for energy services through a quantitative approach of lifestyles. Energy, Elsevier, 2017, pp.In Press

Maïzi Nadia, Mazauric Vincent, Assoumou Edi, Bouckaert Stéphanie, Krakowski Vincent. Maximizing intermittency in 100% renewable and reliable power systems: A holistic approach applied to Reunion Island in 2030. Applied Energy, Elsevier, 2017, pp.In Press

Maïzi Nadia, Assoumou Edi, Le Gallic Thomas. La « Digital Society » : un scénario de transition énergétique à l'horizon 2072. Annales des mines - Responsabilité et environnement , Eska, 2017, Transition numérique et transition écologique, pp.24-27.

Postic Sébastien, Selosse Sandrine, Maïzi Nadia. Energy contribution to Latin American INDCs: Analyzing sub-regional trends with a TIMES model. Energy Policy, Elsevier, 2017, 101, pp.170-184

Selosse Sandrine, Ricci Olivia. Carbon capture and storage: Lessons from a storage potential and localization analysis. Applied Energy, Elsevier, 2017, 188, pp.32 - 44.

V/ Les événements de la Chaire en 2017

Journée de la Chaire Modélisation prospective Prospective pour les enjeux Energie-Climat

Cette journée a eu lieu le mercredi 22 novembre 2017 à MINES ParisTech, Paris

Au programme :

Ouverture de la Journée de la Chaire Modélisation prospective par Nadia MAÏZI (directrice du CMA) et Jean-Charles HOURCADE (directeur de recherche au CIRED).

Demande – Ressources – Transition – International : six contributions issues de la modélisation prospective :

- Jules SCHERS (CIRED) : The economic impacts of carbon tax revenue recycling in South Africa in a world with labour-saving technological change
- Seungwoo KANG (CMA-MINES ParisTech) : Réponse des pays asiatiques à l'objectif de 2 degrés
- Salahedinne SOUMMANE (CIRED) : Gestion de la rente pétrolière et diversification face au changement climatique: focus sur l'Arabie Saoudite
- Antoine BOUBAULT (CMA-MINES ParisTech) : Des matières premières critiques dans le modèle TIAM-FR
- Simona de LAURETIS (CIRED) : Modes de vie, énergie et emplois du temps: analyse prospective macro-micro
- Ariane MILLOT (CMA-MINES ParisTech) : Impacts des objectifs de la LTECV sur le système énergétique français : analyse avec le modèle TIMES-FR

suite

Mise en perspective au regard de la situation en France : Intervention de Ophélie RISLER de la Direction Générale Energie et Climat du Ministère de la

Transition Ecologique et Solidaire'Transition énergétique internationale: quelles dynamiques de changement ?

- Le modèle allemand : Markus BLESL (IER, University of Stuttgart, Germany)
- Le modèle indien : Subash DHAR (DTU, Danemark)
- Le modèle norvegien : Kari ESPEGREN (IFE, Norway)
- Le modèle mexican : Séverine CARREZ (Chercheure associée à ASES-SC, France)

Quelle vision de la transition énergétique pour les partenaires de la Chaire ?

Interventions des partenaires de la Chaire Modélisation prospective : ADEME - EDF - GRTgaz - SCHNEIDER ELECTRIC - DGEC

Journée de la Chaire Modélisation prospective - SCHNEIDER ELECTRIC

La « Smart energy » dans tous ses états

Elle a eu lieu le vendredi 9 juin 2017 au HIVE, Siège Social de Schneider Electric à Rueil Malmaison.

Le concept d'intelligence (smart) est aujourd'hui décliné dans un périmètre qui associe tous les vecteurs énergétiques, au-delà de l'électricité, ainsi qu'un ensemble de solutions dites de flexibilité. Promesse d'un business porteur d'innovation, la « smart energy » a pour ambition de réaliser une transition énergétique compatible avec les enjeux sociétaux de décarbonation. Cette journée, organisée par Schneider Electric, a été l'occasion d'interroger l'impact des solutions associées à la « smart energy » à la fois au niveau des technologies et des enjeux de court et de long terme. En particulier ont été illustrés les apports des outils développés par Schneider Electric et la Chaire Modélisation prospective au service du développement durable pour permettre de répondre à ces préoccupations stratégiques majeures.

Nadia Maïzi et Vincent Mazauric

Programme de la journée :

Accueil et visite du «Innovation Hub», le Show Room de Schneider Electric :

- Ouverture de la journée par Christel Heydeman, Schneider Electric, Président France.
- Session du périmètre de la « smart energy » animée par Nadia Maïzi avec :

  Christel Heydeman, Schneider Electric, Présidente France ;

  Thierry Sudret, ENEDIS, Directeur Smart Grids ;

  Thierry Leboucher, EDF R&D, Directeur délégué ;

  Sébastien Henry, RTE, Directeur des Systèmes d'Information et Télécommunication ;

  Stéphanie Schneider, GRTgaz, Directrice adjointe Stratégie et Régulation ;

  Antoine de Fleurieu, GIMELEC, Délégué Général.
- Session « Synthèse et articulation des enjeux de la smart energy » animée par Vincent Mazauric, Schneider Electric

  Interventions de Jean Charles Hourcade du CIRED et de Nadia Maïzi.

Déclinaisons de la smart energy :

Session « Des enjeux locaux à la perspective de long terme » animée par Alfredo Samperio et Gilles Vermot-Desroches, Schneider Electric.

- Efficacité énergétique pour les smart grids grâce à l'optimisation et à la prédiction, Peter Pflaum, Schneider Electric
- Modélisation de la complémentarité long terme des systèmes gaz et électricité, Remy Doudard, GRTgaz/CMA/MINES ParisTech
- Fiscalité et limitation de l'étalement urbain : une approche modélisée, Vincent Viguié, CIRED
- La Flexibilité : le Graal du futur système énergétique ?, Alain Malot, Schneider Electric
- Le «Pay As You Go» permet-il vraiment l'accès à l'énergie pour les plus pauvres ?, Christophe Poline, Schneider Electric
- Conditions d'une France renouvelable, Gondia Seck, CMA/MINES ParisTech

Discussion et Synthèse : Claude Le Pape, Schneider Electric

Conclusion : Au croisement des enjeux corporate de la « smart energy » et des travaux de la Chaire.

La COP 23, Bonn 2017

Cette 23ème édition de la conférence climatique internationale s'est déroulée du 6 au 17 novembre 2017 à Bonn sous la présidence des Iles Fiji. La COP23 est le début du processus qui doit permettre de traduire les ambitions politiques de l'Accord de Paris (COP21) en un manuel d'application technique détaillé.

Dans le cadre de la COP 23, le CMA a tenu un stand MINES ParisTech et organisé un side event intitulé : « Islands and low carbon pathways » le 16 novembre dans le pavillon « cities and regions ».

Dans la plupart des petits Etats insulaires en développement, les besoins en énergie demeurent dépendants des importations en énergies fossiles malgré le fait que les énergies renouvelables locales pourraient répondre à leurs besoins.

Plusieurs experts ont engagé une discussion autour des solutions possibles afin que les îles puissent envisager un nouveau futur pour leur système énergétique. A travers cette conférence, les contraintes techniques liées à la production d'électricité pouvant limiter la décarbonisation du réseau électrique et l'introduction massive d'électricité intermittente seront évoquées.

Les leçons tirées des exercices de modélisation illustreront le débat quant aux besoins particuliers liés aux questions d'intégration des énergies renouvelables, d'accès à l'énergie ou en matière d'approvisionnement en électricité sécurisé.

Ce side event a proposé des échanges de grande qualité permettant de prendre en compte la plausibilité des systèmes énergiques futurs et l'enjeu de leur déploiement. De plus, l'événement a permis de démontrer l'intérêt de la modélisation prospective mais surtout d'établir un dialogue entre les responsables politiques, les experts et les scientifiques.

Intervenants:

- Nadia MAÏZI (CMA, MINES ParisTech, PSL Research University)
- Edi ASOUMOU (CMA, MINES ParisTech, PSL Research University),
- Sandrine SELOSSE (CMA, MINES ParisTech, PSL Research University)
- Vincent MAZAURIC (Schneider Electric)
- Emanuele TAIBI (IRENA)

COP23 | FIJI
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
BONN 2017

VI/ Autre événement important

Les chercheurs du CMA ont participé en juillet 2017 à la conférence IFORS.

Du 17 au 21 juillet 2017, le Centre de Mathématiques Appliquées a participé à la 21 ème conférence de la fédération internationale des sociétés de recherche opérationnelle IFORS (Conference of the International Federation of Operational Research Societies) qui s'est tenu au Quebec, Canada.

Dans le cadre du stream organisé par Nadia Maïzi dans le domaine « Énergie, Environnement, Climat» et intitulé " Long Term Planning in Energy, Environment and Climate ", 6 sessions ont été proposées dont 5 portées par les Enseignants chercheurs et doctorants du centre : Nadia Maïzi, Edi Assoumou, Sandrine Selosse et Ankinée Kirakozian, Sophie Demassey et Gratien Bonvin, Gilles Guerassimoff.

Extrait du programme

SESSION Power Systems Planning and Uses - Edi ASSOUMOU

The long term potential for electricity and gas grids integration in France

Edi Assoumou, CMA Mines ParisTech ; Rémy Doudard, CMA MINES ParisTech ; Jerôme Gutierrez, CMA Mines ParisTech-ARMINES

SESSION Short- and Long-Term Optimization in Water Networks - Sophie DEMASSEY and Gratien BONVIN

Pump scheduling in drinking water distribution systems through convex relaxation and time step duration adjustment

Gratien Bonvin, CMA MINES ParisTech ; Sophie Demassey, CMA MINES ParisTech

SESSION Models for energy and environmental issues - Olivier BAHN

Long-term energy modeling for a decarbonized world: an assessment of the Paris Agreement with an optimization bottom-up model

Sandrine Selosse, CMA MINES ParisTech ; Seungwoo Kang, CMA MINES ParisTech Nadia Maïzi, CMA, MINES ParisTech

SESSION Behavioural Economics for Energy and Environmental Challenges - Sandrine SELOSSE and Ankinée KIRAKOZIAN

Bad, for the greater (public) good: Third-party monitoring and sanction on pro-environmental behavior. Ankinée KIRAKOZIAN, CMA MINES ParisTech ; Agrès FESTRE, GREDEG, University of Nice Sophia Antipolis ; Pierre Garrouste, GREDEG, University of Nice Sophia Antipolis ; Mira Toumi, GREDEG, University of Nice Sophia Antipolis

Nudging electricity consumption within firms. Feedbacks from a field experiment

Christophe Charlier, Economic, Université Côte d'Azur, CNRS, GREDEG ; Ankinée KIRAKOZIAN, CMA MINES ParisTech ;Gilles Guerassimoff, CMA MINES ParisTech ; Sandrine Selosse, CMA MINES ParisTech

Tools for the improvement of households energy management

Gilles Guerassimoff, CMA MINES ParisTech

SESSION Machine learning for applications - Gilles GUERASSIMOFF

SESSION Integration of intermittent and renewable energy sources – Nadia MAÏZI

Maximizing intermittency in 100% renewable and reliable power systems: A holistic approach applied to Reunion Island in 2030

Nadia Maïzi, CMA MINES ParisTech ; Vincent Mazauric, Strategy & Technology, Schneider Electric ; Edi Assoumou, CMA MINES ParisTech ; Vincent Krakowski, CMA MINES ParisTech ; Stephanie Bouckaert, CMA MINES ParisTech.

COP24·KATOWICE 2018
KONFERENCJA NARODÓW ZJEDNOCZONYCH
W SPRAWIE ZMIAN KLIMATU

KATOWICE
dla odmiany

MINES ParisTech | PSL

RAPPORT 2017 D'*activité*

Centre de Mathématiques Appliquées

Sophia Antipolis